МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕХАНИЗМОВ

Учебно-методическое пособие
к выполнению курсового проекта (РГР) по дисциплинам
«Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения»,
«Основы взаимозаменяемости»,
«Взаимозаменяемость и нормирование точности»
для студентов всех форм обучения технических направлений

В шести частях

Часть 6

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Севастополь
СевГУ
2022

УДК (681.2.084:006.86):001.891-057.87(075.8)
ББК 34.9в6я73
Н833

Р е ц е н з е н т :
А. Ю. Тараховский – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Основы цифрового проектирования» Политехнического института СевГУ

Составители: Н. А. Волошина, О. В. Филипович, Н. А. Балакина, Г. В. Невар

Н833 **Нормирование и контроль точности типовых соединений механизмов:** в 6-ти частях: Часть 6. Технические измерения: учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта (РГР) по дисциплинам «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Основы взаимозаменяемости», «Взаимозаменяемость и нормирование точности» для студентов всех форм обучения технических направлений / Севастопольский государственный университет ; сост.: Н. А. Волошина, О. В. Филипович, Н. А. Балакина, Г. В. Невар. – Севастополь: СевГУ, 2022. – 76 с. – Текст : электронный.

Предназначено для учебно-методического обеспечения дисциплин «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Основы взаимозаменяемости», «Взаимозаменяемость и нормирование точности».

Целью учебно-методического пособия является оказание помощи студентам при выполнении курсового проекта и расчетно-графических работ по дисциплинам «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Основы взаимозаменяемости», «Взаимозаменяемость и нормирование точности». Овладение навыками расчета предельных калибров и выбора средств измерительной техники для измерения элементов деталей.

УДК (681.2.084:006.86):001.891-057.87(075.8)
ББК 34.9в6я73

Учебно-методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», протокол № 11 от 24 июня 2022 г.

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия для студентов всех форм обучения технических направлений.

© Волошина Н. А., Филипович О. В.,
Балакина Н. А., Невар Г. В., сост., 2022
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ 4
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ 5
1 ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ РАЗМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 7
1.1 Измерение размерных элементов 7
1.2 Контроль размерных элементов 23
2 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ УГЛОВ И КОНУСОВ 29
3 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЬБЫ 36
4 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ 41
5 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ 49
6 СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ 51
7 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС 55
БИБЛИОГРАФИЯ 58
ПРИЛОЖЕНИЕ А 62

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Принятые сокращения

$СИТ$ – средство измерительной техники
$СИ$ – средство измерений
$МХ$ – метрологические характеристики
$МИ$ – метод измерений
$НСП$ – неисключенная систематическая погрешность
$СКО$ – среднее квадратическое отклонение

Принятые обозначения

Δ_{Σ} – суммарная погрешность измерения
δ – допускаемая погрешность измерения
IT – допуск на изготовление
$\tilde{A}$ – результат однократного измерения
x_i – экспериментальное данное, полученное при измерении;
$\bar{x}$ – среднее арифметическое значение экспериментальных данных
$S(\tilde{A})$ – СКО случайной погрешности результата измерений
P – принятая доверительная вероятность
$Z_{P/2}$ – квантиль нормального распределения для доверительной вероятности P
$\varepsilon(P)$ – доверительные границы случайных погрешностей
Θ – границы неисключенной систематической погрешности
$\Theta(P)$ – доверительные границы систематической погрешности измерения для доверительной вероятности P
$\Delta(P)$ – доверительные границы суммарной погрешности результата измерений для доверительной вероятности P
u – стандартная неопределенность измерений
u_A – стандартная неопределенность, оцениваемая по типу A
u_B – стандартная неопределенность, оцениваемая по типу B
u_c – суммарная стандартная неопределенность
U – расширенная неопределенность
$U(P)$ – расширенная неопределенность для уровня доверия P

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Значение измерений в современном обществе очень велико. Они служат не только основой научно-технических знаний, но имеют первостепенное значение для автоматизации производства, совершенствования технологии, обеспечения взаимозаменяемости деталей и узлов и качества изделий в целом, для обеспечения безопасности труда и т.д.

Согласно Федеральному Закону РФ «Об обеспечении единства измерений» под ***измерением*** понимают совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины.

Все измерения осуществляют ***средствами измерительной техники*** (*СИТ*) – техническими средствами, специально предназначенные для измерений (РМГ 29 – 2013). К средствам измерительной техники относят средства измерений, эталоны, измерительные системы, измерительные установки, измерительные принадлежности, средства сравнения, стандартные образцы и др.

Техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики называют ***средством измерений*** (*СИ*).

Совокупность средств измерений, предназначенных для измерений одних и тех же величин, выраженных в одних и тех же единицах величин, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации называют ***типом средств измерений***.

Измерительный прибор **–** средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия. Это может быть шкала со стрелкой, цифровое отсчетное устройство или записывающее устройство.

В зависимости от области применения средств измерения их разделяют на универсальные и специальные.

Универсальными называются средства измерения, предназначенные для измерения длин или углов в определенном диапазоне размеров вне зависимости от конфигурации измеряемого объекта (штангенциркуль, микрометр, рычажная скоба и т.д.).

Средствами измерения *специального назначения* называются средства измерения, предназначенные для измерения деталей определенной конфигурации или для измерения определенного параметра деталей (приборы для измерения параметров зубчатых колес, резьбы и т.д.).

По уровню стандартизации средства измерений подразделяются на стандартизованные и нестандартизированные.

Стандартизованное средство измерений – средство измерений, изготовленное и применяемое в соответствии с требованиями государственного

или отраслевого стандарта. Обычно стандартизованное средство подвергают испытаниям и вносят в Госреестр.

Средство измерений, стандартизация требований к которому признана нецелесообразной, называют *нестандартизованным*.

Вместе с термином «измерение», а иногда вместо него, используют термин «контроль».

Контроль **–** разновидность измерения, когда в результате процесса измерения устанавливают соответствие объекта измерения (контроля) заданным предельным значениям физических величин. Результаты контроля не выдаются в виде значения физической величины, а дается информация о годности или негодности контролируемого объекта или параметра, т.е. о принадлежности физической величины некоторой области *T*. Термин «контроль» чаще всего применяют при использовании калибров, шаблонов и автоматических средств измерения.

Калибром в соответствии с ГОСТ 27284 – 87 называется техническое средство контроля, воспроизводящее геометрические параметры (линейные и угловые размеры, геометрическую форму поверхности или взаимное расположение) элементов детали и контактирующие с элементами детали по поверхности, линии или точке. Поверхность калибра, непосредственно контактирующая с контролируемым элементом детали, называется рабочей поверхностью. Различают предельные и нормальные калибры.

Предельные калибры предназначены для контроля заданных пределов геометрических параметров. Предельные калибры для отверстий и валов подразделяют на проходной (ПР) калибр, контролирующий предел максимума материала, и непроходной (НЕ) калибр, контролирующий предел минимума материала.

Нормальный калибр воспроизводит заданный линейный или угловой размер и форму контролируемого элемента детали. Контроль нормальным калибром производят по степени сопряжения (припасовки) его и детали.

По назначению калибры делятся на рабочие (применяются для контроля деталей при их изготовлении); приемные (применяются для контроля деталей заказчиком); контрольные (применяются для контроля калибров); установочные (применяются для установки рабочих калибров и измерительных приборов).

1 ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ РАЗМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Размерным элементом называется геометрическая форма, определяемая линейным или угловым размером. Размерными элементами могут быть цилиндр, сфера, две параллельные противоположные стороны.

1.1 Измерение размерных элементов

Измерения размерных элементов изделий производят универсальными или специальными средствами измерений.

Рассмотрим более подробно универсальные средства измерений, которые по принципу измерения можно разделить на следующие основные группы: механические; оптические; пневматические и электрические приборы. По назначению они делятся на средства измерений наружных размеров (валов) и внутренних размеров (отверстий).

Плоскопараллельные концевые меры длины. Плоскопараллельными концевыми мерами длины (ГОСТ 9038 – 90) называют меры длины с постоянными значениями размера, который находится между двумя параллельными плоскостями у детали, имеющей форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 1.1).

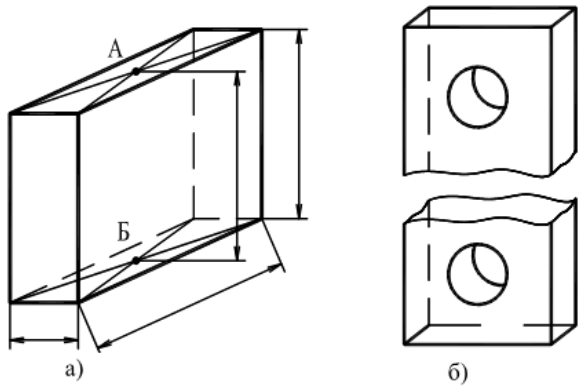


Рисунок 1.1 – Плоскопараллельные концевые меры длины:
а) – габаритные размеры; б) – концевые меры свыше 100

Название «плоскопараллельная концевая мера длины» дано в связи с тем, что значение размера у этой меры заключено между плоскими и параллельными измерительными поверхностями меры. Плоскопараллельные концевые меры длины чаще всего называют концевые меры длины или концевые меры.

За длину концевой меры в любой точке принимают длину перпендикуляра АБ (рис. 1.1), опущенного из данной точки измерительной поверхности концевой меры на противоположную измерительную поверхность.

Концевые меры длины выпускаются различных размеров и поставляются чаще всего в виде наборов, которые позволяют собрать комплект мер различной длины.

Особым свойством концевых мер длины является их притираемость – свойство измерительных поверхностей концевых мер, обеспечивающее прочное сцепление между собой при прикладывании или надвигании одной концевой меры на другую. При работе с концевыми мерами, если в наборе нет меры требуемого размера, составляют блок из возможно меньшего количества мер.

Для того чтобы обеспечить хорошую притираемость и износостойкость измерительных поверхностей шероховатость измерительных поверхностей концевых мер длины должна быть не более 0,063 мкм по параметру *Rz*.

Точность концевых мер длины определяется допусками на изготовление или точностью аттестации ее размера. Поскольку при разных случаях применения концевых мер требуются различные точности, то установлены 6 классов точности концевых мер длины, обозначаемые 00; 01; 0; 1; 2; и 3 (класс 00 самый точный, т.е. концевые меры в этом классе имеют самый маленький допуск на изготовление по сравнению с мерами тех же номиналов в других классах).

Концевые меры длины используют для хранения и передачи единицы длины от эталона мерам и измерительным приборам, для настройки измерительных средств на измеряемый размер (установка на «нуль»), для определения величины перемещения подвижных элементов станка и другой технологической оснастки, настройки разметочного оборудования и во всех других случаях, когда необходимо иметь постоянное значение размера.

Штриховые меры длины – меры, размер которых определяет расстояние между осями двух штрихов или нескольких, нанесенных перпендикулярно к продольной оси меры. К штриховым мерам длины относят брусковые меры длины (ГОСТ 12069 – 90), металлические измерительные линейки (ГОСТ 427 – 75) и измерительные металлические рулетки (ГОСТ 7502 – 98).

Измерительная линейка представляет собой металлическую полосу, на плоскости которой нанесены деления (рис. 1.2).

В принципе, измерительные линейки, которые часто называют масштабными линейками, относятся к многозначным мерам, т.е. к мерам, воспроизводящим ряд одноименных значений различного размера.

Номенклатура измерительных линеек включает большую разновидность: от простейших ученических деревянных линеек до высокоточных металлических линеек, на которых имеется лупа для отсчета по шкале, и линеек с точностью до долей микрометра, устанавливаемых в станках.

Металлические измерительные линейки изготовляют общей длинной от 150 до 1000 мм. Обычно промежуточные размеры имеют 300 и 500 мм.

Конструкция линеек, в принципе, однотипны. Они представляют собой металлическую полосу, на широкой поверхности которой нанесены деления в подавляющем большинстве случаев через 1 мм между осями штрихов (рис. 1.2).

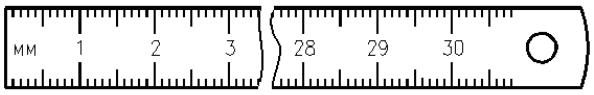


Рисунок 1.2 – Линейка измерительная металлические

Иногда линейки делают с расстоянием 0,5 мм между штрихами, но практически пользоваться такими линейками с отсчитыванием 0,5 мм трудно, так же как и трудно такие линейки изготовлять.

Нулевой штрих, т.е. начало отсчета в линейках, обычно находится с левой стороны, совпадая с концом линейки, и это даёт основание считать, что линейка со стороны нулевого штриха является концевой мерой.

Линейки изготовляют либо с одной, либо с двумя шкалами. Измерения линейкой производят методом прямых измерений, т.е. прикладыванием ее к измеряемому объекту с сопоставлением его длины со значением меры. В большинстве случаев при измерении линейкой удовлетворяются погрешностью измерения в пределах 1 мм.

Штангенприборы. Штангенприборы (рис. 1.3) представляет собой две измерительные поверхности (губки), между которыми устанавливается размер, одна из которых (базовая) составляет единое целое с линейкой (штангой), а другая соединена с двигающейся по линейке рамкой.

На линейке наносятся через 1 мм деления, на рамке устанавливается или гравируется нониус. В целях повышения надежности штангенприборы изготавливают из материалов, не подвергающихся коррозии с высокой износостойкостью, для чего используют закаленные стали, хромирование и армирование рабочих поверхностей твердым сплавом. Выпускают несколько видов и типоразмеров с размером отсчета 0,02; 0,05 и 0,1 мм.

В зависимости от назначения и конструктивных особенностей штангенприборы разделяют на штангенциркули (ГОСТ 166 – 89) для измерений наружных и внутренних размеров (рис. 1.3,а); штангенглубиномеры (ГОСТ 162 – 90) для измерений глубин пазов и высот уступов (рис. 1.3,б,в); штангенрейсмасы (ГОСТ 164 – 90) для разметочных работ (рис. 1.3,г), штангензубомеры для измерений толщины зуба шестерни (рис. 1.3,д); угломеры с нониусом (ГОСТ 5378 – 88) для измерений наружных и внутренних углов. Существуют конструкции штангенциркулей с электронным отсчетом показаний (рис. 1.3,б).

Микрометрические приборы. У микрометров с. 1.4) измерительным элементом служит шпиндель, имеющий резьбу с очень точным шагом. Осевое перемещение шпинделя для полных оборотов отсчитывается при помощи штрихов, нанесенных на стебле, а для отсчета долей оборота служат радиальные штрихи, нанесенные на барабане микрометра.

Шаг резьбы шпинделя для метрических микрометров равен 0,5 или 1 мм. У микрометров с шагом 0,5 мм измерительный барабан имеет 50 штриховых

делений. У микрометров с шагом 1 мм барабан имеет 100 штриховых делений, чтобы можно было отсчитать 0,01 мм. Длина шпинделя рассчитывается исходя из пределов измерения по шкале инструмента 25 мм.

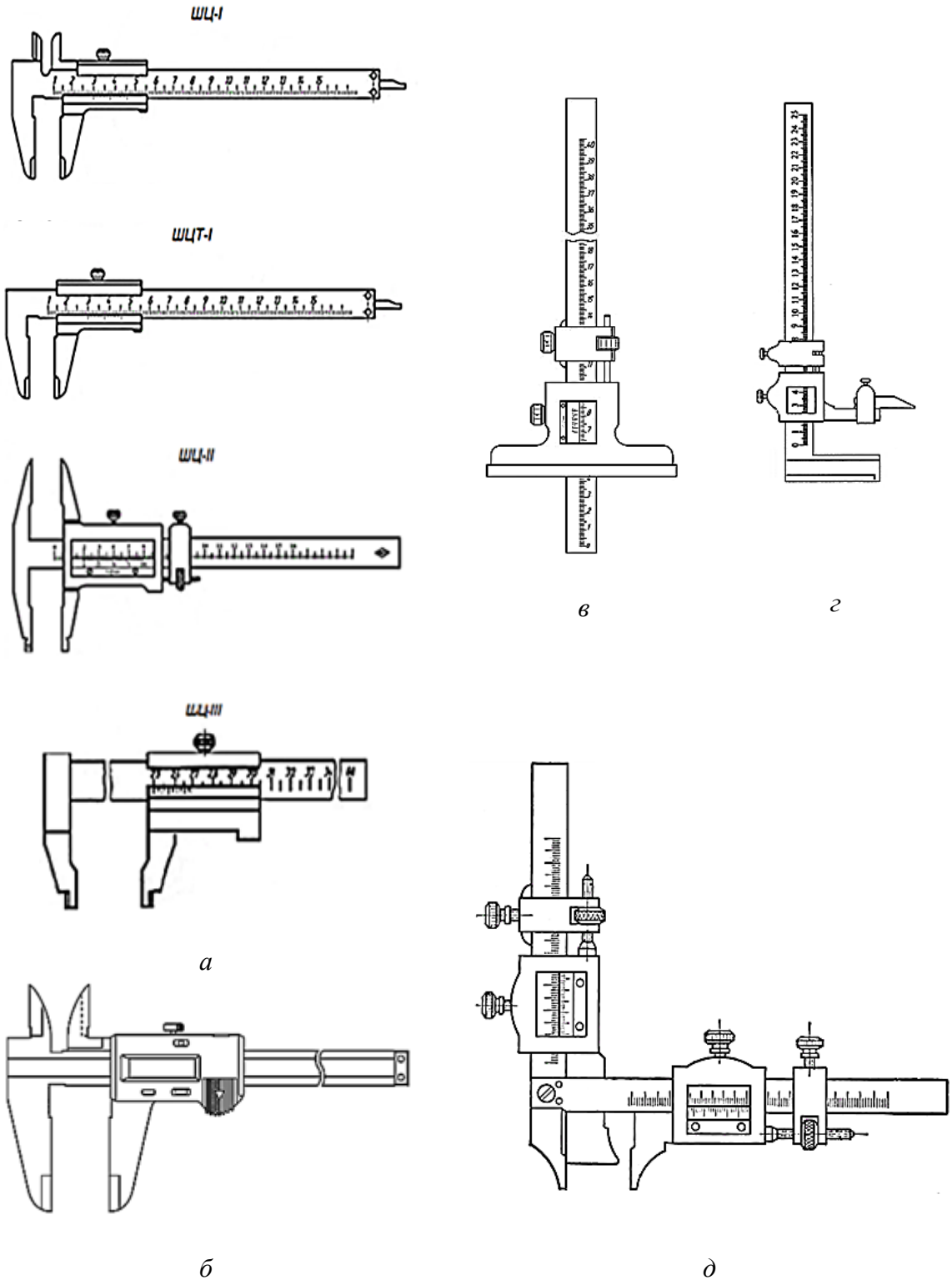


Рисунок 1.3 – Штангенприборы

Чтобы всегда измерять с одним и тем же усилием, измерительный шпиндель снабжен храповиком или фрикционной муфтой (трещоткой).

К микрометрическим приборам относят ручные микрометры, микрометрические глубиномеры и нутромеры (ГОСТ 6507 – 90; ГОСТ 4380 – 86; ГОСТ 7470 – 92; ГОСТ 10 – 88); головки микрометрические (ГОСТ 6507 – 90); микрометры настольные; микрометры рычажные (ГОСТ 4381– 87); микрометры окулярные.

Микрометры для наружных измерений (рис. 1.4,а) имеют скобу, размер которой соответствует измеряемой длине и изменяется ступенями через 25 мм.

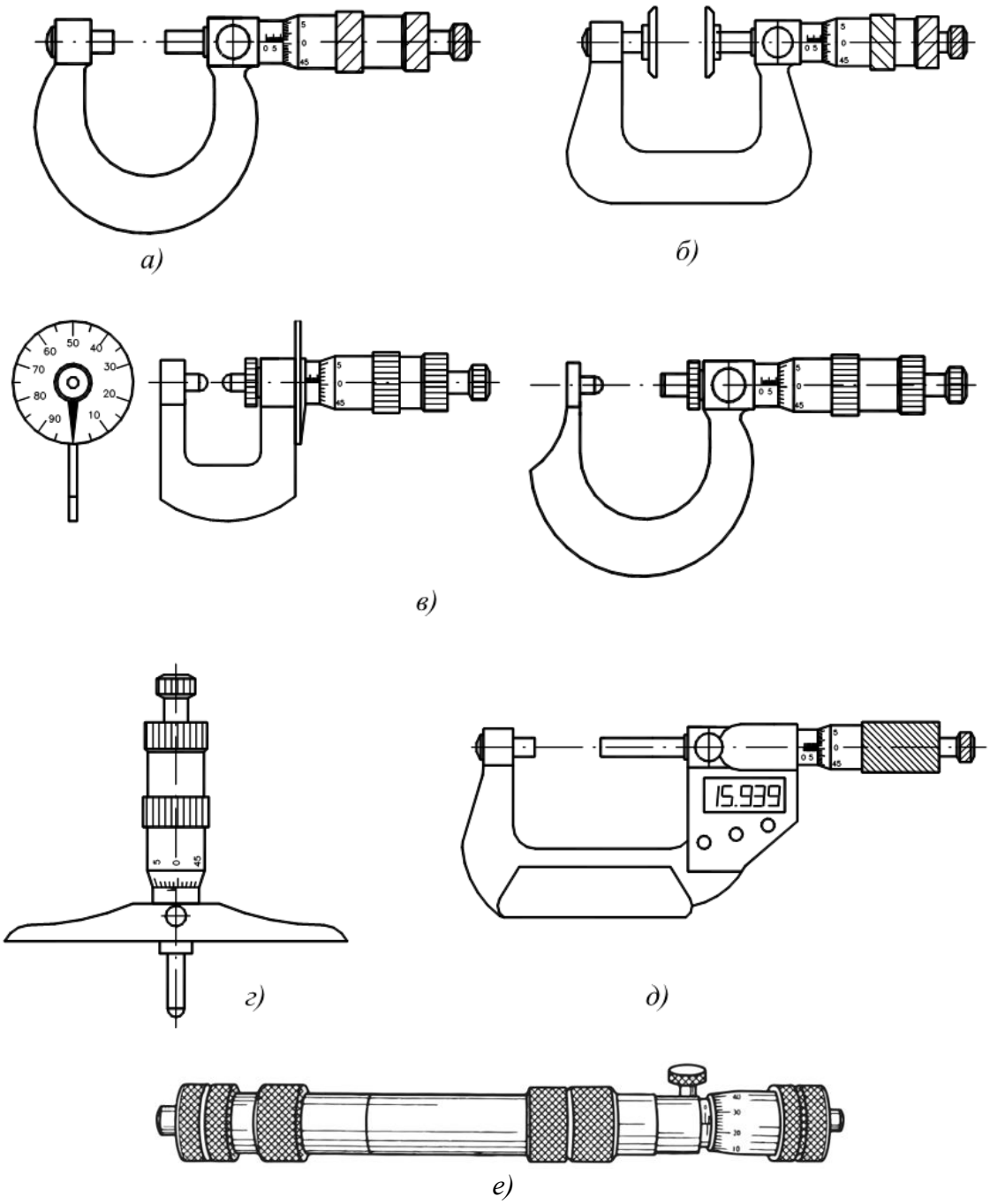


Рисунок 1.4 – Микрометрические приборы

Микрометры для измерения параметров зубьев зубчатых колес имеют большие размеры измерительных поверхностей (рис. 1.4,б). Существуют микрометрические приборы для измерения толщины листов и толщины стенок труб (рис. 1.4,в). Для измерения глубин и уступов служат микрометрические глубиномеры (рис. 1.4,г), у которых микрометрическая головка установлена в траверсе, контактирующая плоская поверхность которой расположена перпендикулярно оси. Имеются конструкции микрометров с электронным отсчетом показаний (рис. 1.4,д).

Микрометрические нутромеры (рис. 1.4,е) для внутренних измерений имеют на обоих концах закругленные измерительные поверхности, которые прилегают к изделию только в одной точке. Они снабжаются удлинителями (от 25 мм) с интервалом 25 мм так, что один микрометрический инструмент с набором удлинителей имеет большие пределы измерения (от 50 до 600 мм).

Измерительные головки. Под измерительной головкой понимают механические отсчетные устройства, преобразующие малые перемещения измерительного наконечника в большие перемещения стрелки и имеющие шкалу, по которой отсчитывают величины перемещения наконечника.

В зависимости от устройства и назначения цена деления головок устанавливается в пределах от 0,00002 до 0,01 мм (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Технические характеристики измерительных головок

Тип головки	Цена деления, мкм	Диапазон показаний, мм	Допускаемая погрешность, мкм
Зубчатые	10	от 0 до 10	от 6 до 22
Рычажно-зубчатые	1; 2	от ±0,05 до 2	от 0,4 до 8
Пружинные	от 0,02 до 10	от ±0,001 до ±0,2	от 0,015 до 5
С электронным цифровым отсчетным устройством	от 1 до 10	от 10 до 100	от 1 до 5

В качестве отдельного прибора эти головки не используют. Они предназначены для оснащения измерительных приборов и приспособлений различного назначения, их устанавливают на стойки или штативы (ГОСТ 10197 – 70). Преимущество приборов со съемными измерительными головками заключается в возможности быстрой замены измерительной головки при выходе ее из строя или необходимости проведения периодической поверки. Кроме того, применение измерительных головок намного упрощает производство измерительных приспособлений, особенно многомерных.

Механические измерительные головки и встроенные в приборы измери-

тельные устройства в зависимости от используемых в них передаточных механизмов подразделяют на рычажные; зубчатые (ГОСТ 577– 68; ГОСТ 15593 – 70); рычажно-зубчатые (ГОСТ 18833 – 73; ГОСТ5584 – 75; ГОСТ 9696 – 82); пружинные (ГОСТ 28798 – 90) и измерительные головки с электронным цифровым отсчетным устройством.

К зубчатым измерительным головкам относятся индикаторы часового типа, которые являются измерительными головками с зубчатой передачей (рис. 1.5,а). Они подразделяются на тип I – с радиальным перемещением измерительного стержня параллельно шкале и тип II – торцовые индикаторы с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале (параллельно оси корпуса).

Индикаторами называются также и рычажно-зубчатые измерительные головки, у которых при измерении стрелка может совершать один или более оборотов. К рычажно-зубчатым головкам относят: рычажно-зубчатые индикаторы с изменяемым положением измерительного рычага относительно корпуса для измерений отклонений формы и расположения; многооборотный индикатор для относительных измерений наружных размеров; рычажно-зубчатые измерительные головки осевого (рисунок 1.5,б) и бокового действия – для относительных измерений наружных размеров и отклонений формы и расположения.

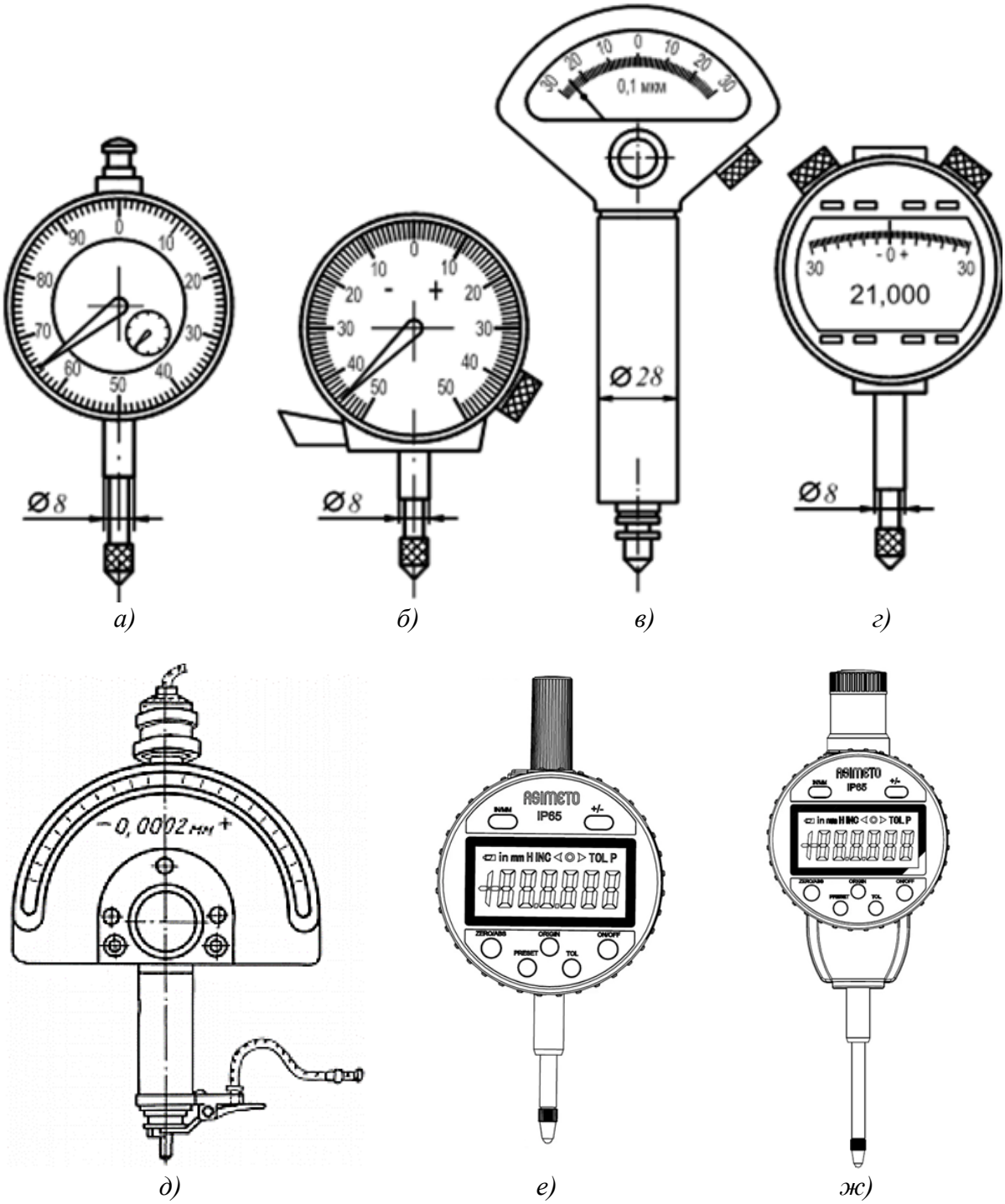
Пружинными измерительными головками называют головки, в которых передаточным механизмом являются упругие элементы (пружина плоская или свернутая) и используются их упругие свойства. Стандартизованы измерительные головки с механизмом в виде свернутой пружины.

На базе пружинного механизма головки изготавливают в основном четырех видов: головки измерительные пружинные (микрокаторы) с присоединительным размером цилиндра 28 мм (рис. 1.5,в); головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) с присоединительным размером цилиндра 28 мм (рис.1.5,д); головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) с присоединительным размером цилиндра 8 мм и головки измерительные рычажно-пружинные (миникаторы) с присоединительным размером цилиндра 8 мм.

Измерительные головки с электронным цифровым отсчетным устройством по конструктивному признаку можно разделить на два вида: головки с выносным цифровым отсчетным устройством и головки со встроенным отсчетным устройством (рис. 1.5,г). Принципиальная схема всех этих головок практически базируется на широкодиапазонном растровом фотоэлектрическом преобразователе.

Оптикаторы представляют собой измерительные пружинно-оптические головки, в которых механическая пружинная передача сочетается с оптическим рычагом. Они характеризуются высокой точностью и стабильностью

измерений, предназначены для поверки концевых мер и особо точных измерений ответственных изделий. Оптикатор имеет пружинную передачу, как микрокатор, только вместо стрелки в середине пружинной ленты приклеено миниатюрное зеркало. Отсчет показаний осуществляется по положению светового луча с маркой по шкале прибора.



а) *б)* *в)* *г)*

д) *е)* *ж)*

Рисунок 1.5 – Измерительные головки

Головки измерительные электронные (рис. 1.5,е,ж) состоят из двух основных частей: индуктивного преобразователя и отсчетного устройства, соединенных между собой с помощью фланца или кабеля длиной до 1,5 м. Принцип действия головок заключается в преобразовании линейного перемещения шпинделя индуктивным преобразователем в электрический сигнал, который обрабатывается и полученная информация отображается в цифровом виде на дисплее отсчетного устройства. Отсчетное устройство выполнено в корпусе, в котором расположены электронный модуль и элемент питания. Электронный модуль отсчетного устройства предназначен для калибровки головки, установки границ интервала допуска, индикации отсчета, отключения питания при длительном бездействии. Головки измерительные электронные выпускаются двух модификаций с присоединительным размером цилиндра 28 мм и 8 мм.

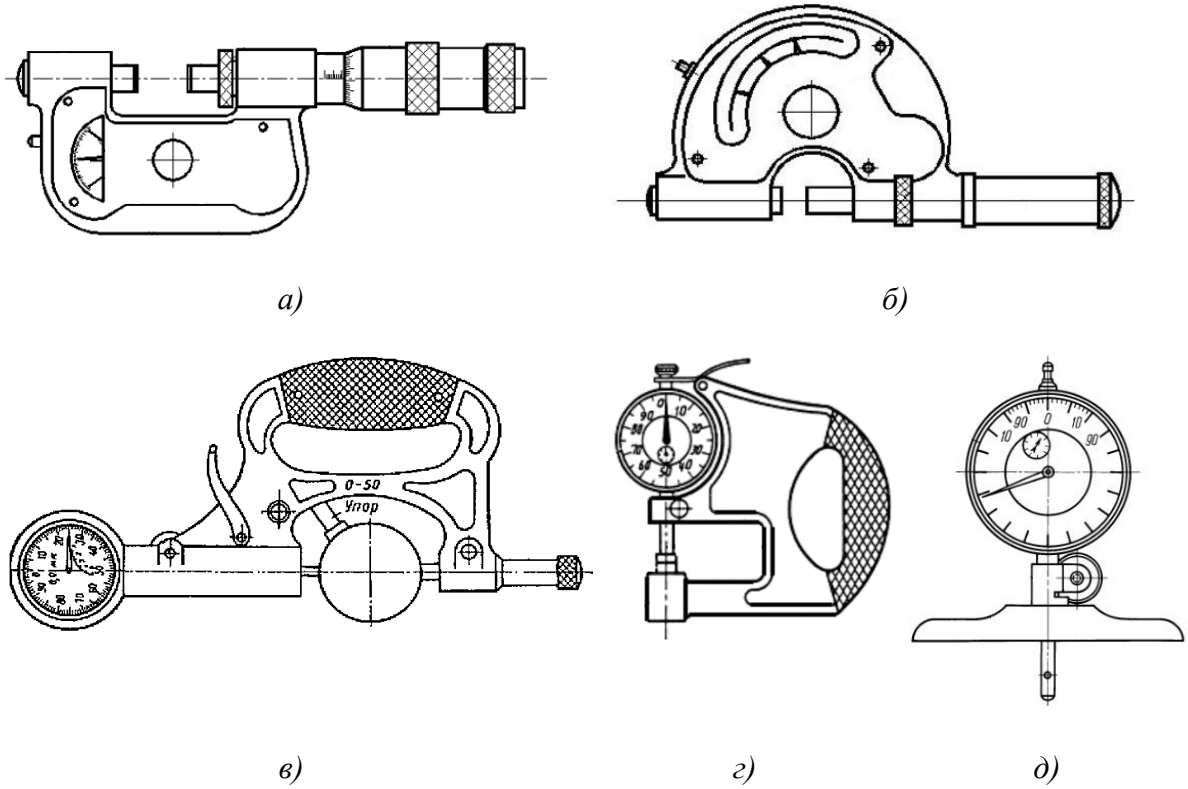
Рычажно-зубчатые приборы. В рычажно-зубчатых приборах используются отсчетные устройства аналогичные измерительным механизмам измерительных головок. В группу рычажно-зубчатых приборов входят: рычажные микрометры (рис. 1.6,а); скобы с отсчетным устройством (рычажная (рис. 1.6,б) и индикаторная (рис. 1.6,в) скобы); индикаторные толщиномеры (рис. 1.6,г); индикаторные глубиномеры (рис. 1.6,д); индикаторные нутромеры (рис.1.6,е) и нутромеры повышенной точности (рис. 1.6,ж).

Оптиметры вертикальные (рис. 1.7,а) и горизонтальные (рис. 1.7,б) – это приборы для измерения линейных размеров методом сравнения с мерой, преобразующим элементом в котором является рычажно-оптический механизм.

Непосредственно измерительной головкой в этом приборе является трубка оптиметра. В зависимости от устройства трубки оптиметра шкала и указатель могут наблюдаться в окуляр или проектироваться на экран. Существуют следующие типы оптиметров с ценой деления 0,001 мм: ОВО-1 – вертикальный оптиметр с окуляром; ОВЭ-1 – вертикальный оптиметр с проекционным экраном; ОГО-1 – горизонтальный оптиметр с окуляром; ОГЭ-1 – горизонтальный оптиметр с проекционным экраном, вертикальный оптиметр с проекционным экраном ОВО-02 (ультраоптиметров) с ценой деления 0,0002 мм.

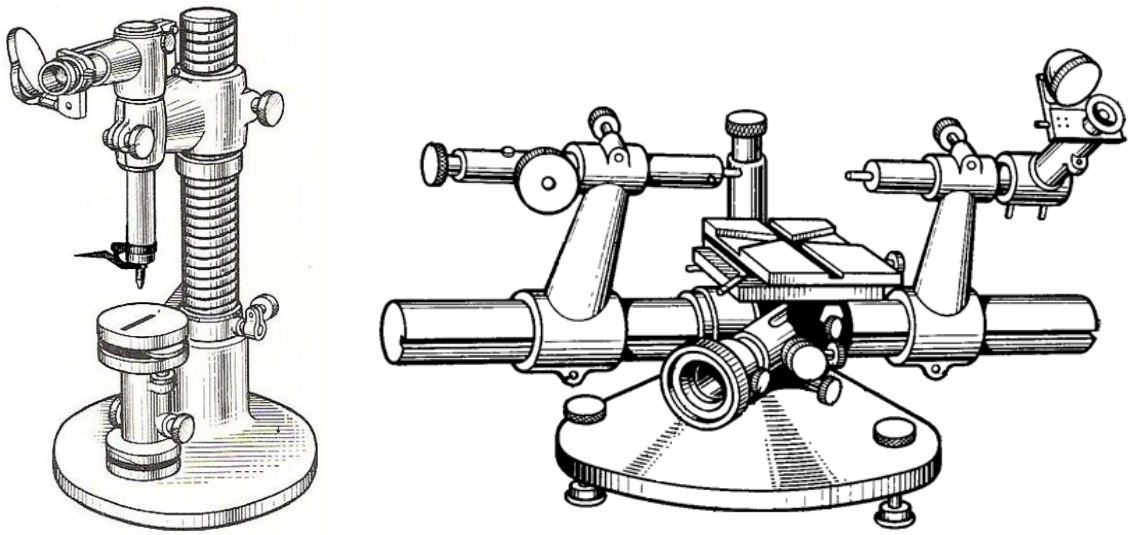
Оптиметры ОВО-1, ОВГ-1, ОВЭ-1, ОГОЭ-1 имеют пределы показаний по шкале ± 0,1мм и погрешность показаний до 0,0003 мм. Ультраоптиметр ОВЭ-02 имеет предел показаний по шкале ± 0,025 мм и погрешность показаний до 0,0001 мм.

Существуют также вертикальные ИКВэ и горизонтальные ИКГэ электронные оптиметры. Они предназначены для точных измерений наружных и внутренних линейных размеров мер и изделий непосредственно оптоэлектронными преобразователями линейных перемещений (прямые измерения) или путём сличения с концевыми мерами длины (методом сравнения с мерой).



а) *б)* *в)* *г)* *д)* *е)* *ж)*

Рисунок 1.6 – Рычажно-зубчатые приборы



а) *б)*

Рисунок 1.7 – Внешний вид оптиметров

В основу работы преобразователя положен метод оптоэлектронного сканирования штриховых растров.

Оптические длиномеры предназначены для прямых измерений (в пределах 100 мм) и измерений методом сравнения с мерой (при размерах свыше 100 мм).

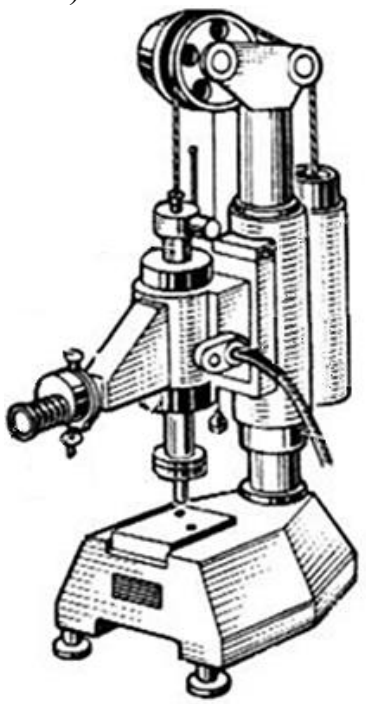


Рисунок 1.8 – Внешний вид вертикального длиномера ИЗВ-1

Принцип действия длиномеров заключается в измерении перемещения образцовой линейной шкалы, установленной на одной оси с измерительным стержнем. При измерениях перемещение шкалы определяется по показаниям измерительного микроскопа со спиральным нониусом. Цена деления измерительного микроскопа со спиральным нониусом составляет 0,001 мм.

Погрешность показаний вертикального длиномера ИЗВ-1 (рис. 1.8) зависит от измеряемой длины и не должна превышать $\pm (1{,}5+L/100)$ мкм.

В настоящее время на смену оптическим длиномерам приходят длинномеры с электронным отсчетным устройством как вертикального исполнения, так и горизонтального.

Длиномеры «Аэротест» с комплектом измерительной оснастки предназначены для использования в качестве показывающего прибора в установках и системах для послеоперационного, активного, статистического контроля линейных размеров, отклонений формы и расположения поверхностей при изготовлении деталей точного машиностроения. Длиномер «Аэротест» (рис. 1.9) представляет собой измерительный пневмоэлектронный прибор высокого давления манометрического типа дифференциальный со встроенным стабилизатором давления. Принцип действия длиномера основан на преобразовании величины измерительного давления воздуха, связанного с контролируемым размером, в электрический сигнал и далее в показания электрических отсчетных устройств.

Измерение производится с помощью специальной измерительной оснастки (пневматических измерительных пробок, скоб и приспособлений). Считывание результатов измерений производится в цифровом виде с цифровой шкалы, результатов контроля («Годно», «Брак») – по вертикальной дискретной световой шкале.

В длиномере предусмотрена возможность статистической обработки результатов контроля и передачи результатов на персональный компьютер.

Рисунок 1.9 – Длиномеры "Аэротест"

Измерительные машины предназначены для точных прямых измерений больших длин или измерений методом сравнения с мерой.

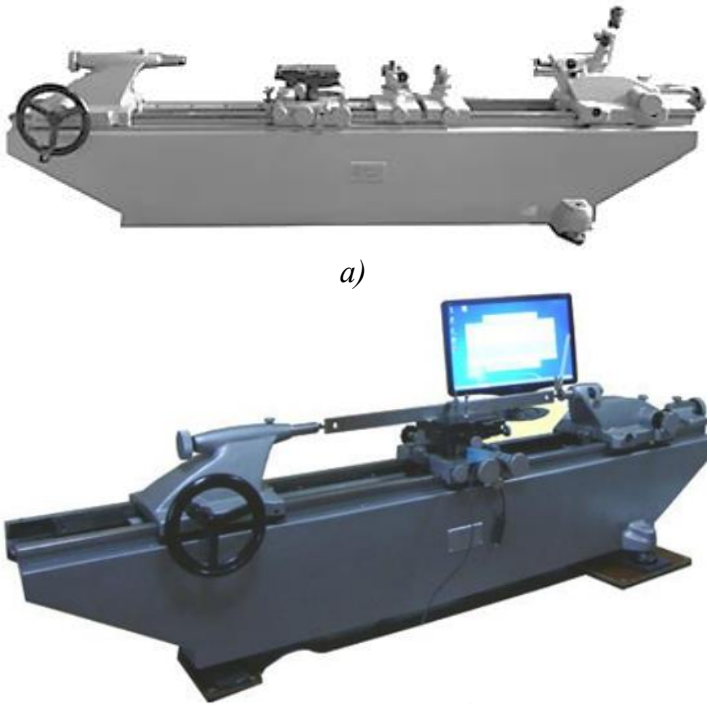
Измерительная машина типа ИЗМ-10 (рис. 1.10,а) имеет жесткую станину, по направляющим которой могут перемещаться левая пинольная бабка и правая измерительная бабка. Пинольная бабка может перемещаться в пределах всей длины направляющих станины. Измерительная бабка с трубкой оптиметра и отсчетным микроскопом может перемещаться только в пределах 100 мм. На станине закреплена стеклянная шкала длиной 100 мм с ценой деления 0,1 мм. В той же плоскости через каждые 100 мм расположены стеклянные пластины с двойным штрихом.

Измерения на машине методом сравнения с мерой производят так же, как на горизонтальном оптиметре. Оптическую шкалу машины при этом не используют.

Прямые измерения производят с использованием оптической системы машины, при этом целые и десятые доли миллиметра отсчитываются по штриху миллиметровой шкалы. По шкале оптиметра отсчитывают сотые и тысячные доли миллиметра.

Машины измерительные электронные типа ИЗМ-10э (рис. 1.10,б) предназначены для точных измерений наружных и внутренних линейных размеров мер и изделий непосредственно оптоэлектронными преобразователями линейных перемещений (прямые измерения) или путём сличения с концевыми мерами длины (методом сравнения с мерой).

Измерительная машина (рис. 1.10,б) представляет собой чугунную или твердокаменную станину с плоскими направляющими для крепления измерительной бабки и перемещения пинольной бабки, предметного стола и люнетов. Между направляющими станины помещена зубчатая рейка, с которой сцепляется трибка для перемещения пинольной бабки. Рядом с рейкой установлены корпусы оптоэлектронных преобразователей линейных перемещений. Пинольная бабка движется по направляющим с помощью маховика. В верхней части бабки по линии измерения машины помещена пиноль. На правом конце стержня укреплена головка с измерительным штифтом. Штифт посредством шарнира может отклоняться на небольшой угол с помощью двух регулировочных винтов. Измерительная бабка крепится на правом конце станины. На измерительной бабке установлено измерительное устройство с оптоэлектронным преобразователем линейных перемещений. Сигналы от преобразователей линейных перемещений после предварительной обработки в блоке интерфейсов передаются на процессор рабочей станции, где выполняются вычисления, и формирование протокола измерений по алгоритму, выбранному оператором.



а)

б)

Рисунок 1.10 – Измерительные машины

Измерительные микроскопы предназначены для измерения наружных и внутренних линейных и угловых размеров изделий в прямоугольных и полярных координатах. Они состоят из головки главного микроскопа и приспособления, с помощью которого либо сама головка, либо контролируемое изделие могут перемещаться в одном или двух взаимно перпендикулярных направлениях. Во многих конструкциях микроскопов окулярная штриховая пластинка может вращаться, что позволяет производить и угловые измерения.

В машиностроении наибольшее распространение получили малый (ММИ) и большой (БМИ) инструментальные микроскопы и универсальные микроскопы (УИМ). Они имеют один принцип измерения и различаются конструкцией, диапазоном измерений и областью применения.

Принципиальное отличие инструментальных микроскопов ММИ и БМИ от универсальных микроскопов УИМ заключается в том, что в микроскопах ММИ и БМИ визирование на измеряемые поверхности осуществляется оптическим методом, а отсчет показаний производится с помощью микрометрических устройств аналогичных отсчетным устройствам микрометров. В микроскопах типа УИМ визирование на измеряемые поверхности и отсчет показаний производится оптическими методами, причем в качестве отсчетных устройств применяются измерительные микроскопы со спиральным нониусом, аналогичным измерительным микроскопам оптических длиномеров.

Пределы измерений инструментального микроскопа ММИ составляют 0…75 мм в продольном направлении и 0…25 мм в поперечном направлении. Пределы измерений инструментального микроскопа БМИ составляют 0…150 мм в продольном направлении и 0…50 мм в поперечном направлении. Измерения на инструментальных микроскопах осуществляются с помощью комплекта принадлежностей, в который входят сменные объективы, призмы, струбцины и комплект концевых мер длины.

Универсальные микроскопы типа УИМ отличаются от инструментальных более широким диапазоном и более высокой точностью измерений

Универсальность микроскопов обеспечивается разнообразными принадлежностями, в комплект которых входят круглый предметный стол, стол с высокими центрами, специальная измерительная бабка и др.

Измерения на микроскопах можно проводить теневым методом в проходящем свете, контурным методом в отраженном свете и методом осевого сечения с помощью измерительных ножей.

В настоящее время инструментальные микроскопы выпускаются с электронным отсчетом показаний.

Принцип работы микроскопов инструментальных ИМЦЛ 100×50, А (рис. 1.11) основан на бесконтактном методе измерений размеров деталей с помощью преобразователя линейного фотоэлектрического (ПЛФ) и выводом результатов измерения на устройство отсчетное (УЦО).

Рисунок 1.11 – Микроскоп инструментальный ИМЦЛ 100×50, А

Измерительные проекторы. Измерительным проектором в машиностроении называется оптический прибор, в котором оптическое устройство формирует на экране изображение измеряемого объекта.

Проекторы в основном применяют для проверки изделий со сложным контуром: профильных шаблонов, мелкомодульных зубчатых колес, модульных и фасонных фрез, резьб, резьбообразующего инструмента и т. п.

Различают три основных способа проверки размеров изделий на проекторах:

- проверка путем сравнения изображения изделия с нормальным или предельными контурами, вычерченными на экране;
- проверка по характеру освещенности экрана проектора совмещенного изображения;
- определение линейных и угловых размеров с помощью измерительных устройств, которыми снабжен проектор.

Обычно на проекторах применяют увеличение от 20 до 50 крат. Увеличение выбирают в соответствии с величинами допусков проверяемых изделий, их размерами и полями зрения объективов, стремясь к возможно более полному использованию площади экрана.

Одним из наиболее распространенных приборов этого типа является большой проектор БП, который позволяет проектировать на экран изображение изделия как в проходящем, так и в отраженном свете. Увеличение в проекторе БП изменяют путем перестановки сменных объективов и может быть 10, 20 и 50 крат. Измерительный стол проектора аналогичен столу большого инструментального микроскопа БМИ и снабжен микрометрическими отсчетными устройствами.

Другим распространенным проектором является часовой проектор ЧП, в котором измерительный стол имеет продольный и поперечный микрометрические винты с отсчетом по нониусу в 0,001 мм. Сменные объективы позволяют получить увеличение в 10,20,50,100 и 200 крат. Процесс измерения на этих проекторах аналогичен процессу измерения на микроскопах. По увеличению, качеству изображения и удобству работы часовые проекторы ЧП имеют преимущества по сравнению с проекторами других типов.

Выбор средств измерений. С целью обеспечения единства измерений нормируют погрешность измерения, устанавливая предел допускаемой погрешности измерения, который при приемочном контроле на линейные размеры до 500 мм устанавливается ГОСТ 8.051 – 81. Из таблиц, указанного ГОСТ, в зависимости от квалитета и номинального размера, определяют допуск на изготовление измеряемой детали и значение допускаемой погрешности измерения δ.

Измерение считается достоверным, если суммарная погрешность измерения Δ_{Σ} не превышает допускаемую δ, т.е. $\Delta_{\Sigma} \le \delta$.

Погрешность измерительного средства $\Delta_{СИ}$ принимается на 20-50% меньше δ. Принимаем погрешность измерительных средств не превышающей $0{,}7\delta$, т.е. $\Delta_{СИ} \le 70\%\,\delta$.

Таким образом, при выборе *СИ* руководствуются следующими данными:

- номинальный размер;
- точность изготовления детали;

– предельная (суммарная) погрешность средства измерения $\Delta_{СИ}$;

– допускаемая погрешность измерения δ.

Для упрощения процесса выбора конкретных измерительных средств был разработан *табличный* метод. Он заключается в том, что были разработаны сводные таблицы, в которых для конкретного диапазона измеряемых величин и заданной точности изготовления приведен полный перечень *СИ*, позволяющий проводить измерения, с погрешностью, не превышающей допускаемую, установленную в ГОСТ 8.051 – 81.

Для наружных размеров предусмотрены станковые и накладные *СИ* (прил. А табл. А.1, А.2 соответственно), для внутренних размеров выбор *СИ* производят по табл. А.3 прил. А.

В левой части таблиц указаны диапазоны номинальных размеров, сверху квалитеты (от *IT2* до *IT17*), а на пересечении горизонтальных полос и вертикальных колонок указаны в виде дроби допускаемые погрешности измерений (δ) и допуски на изготовление (IT). Под ними номерами и буквами указаны шифры измерительных средств и варианты их использования, при которых погрешность измерений не превышает допускаемых значений.

Расшифровка приведенных в таблице *СИ* производится для наружных размеров по табл.А.4, внутренних – табл. А.5 прил. А.

Из указанных *СИ* выбирают то, которое имеется в наличии, проще в обращении и к условиям применения которого предъявляют менее жесткие требования, при этом условия измерения (температурный режим, условия эксплуатации, положение прибора при измерении и т. п.) должны соответствовать паспортным данным выбранного *СИ*.

В курсовом проекте необходимо:

- определить допускаемую погрешность измерения заданного размера;
- выбрать универсальные средства измерения для деталей, указанных в индивидуальном задании;
- определить условия измерения;
- представить описание типа средства измерения в соответствии с Госреестром средств измерений.

1.2 Контроль размерных элементов

Калибры гладкие применяют для определения годности деталей с допуском от *IT6* до *IT18* в крупносерийном и массовом производстве. Деталь считают годной, если проходной калибр под действием собственного веса или усилия, примерно равного ему, проходит, а непроходной калибр не проходит по контролируемой поверхности детали. В этом случае действительный размер детали находится между заданными предельными размерами. Если проходной калибр не проходит, деталь является исправимым браком; если непроходной калибр проходит, деталь является неисправимым браком,

так как размер такого вала меньше наименьшего допускаемого предельного размера, а размер такого отверстия – больше наибольшего допускаемого предельного размера.

Для контроля валов используют калибры-кольца и, главным образом, калибры-скобы (рис. 1.12,а), для контроля отверстий – калибры-пробки (рис. 1.12,б,в).

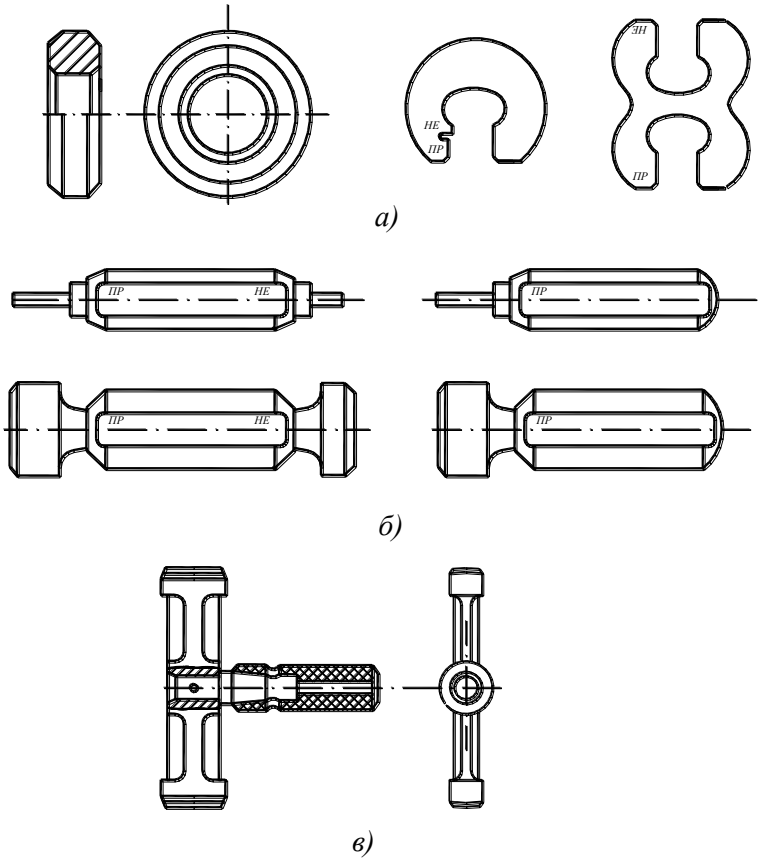


Рисунок 1.12 – Конструкции предельных калибров

Калибры имеют следующие обозначения:

Р-ПР – калибр-пробка гладкий проходной;

Р-НЕ – калибр-пробка гладкий непроходной;

S-ПР – калибр-скоба гладкий проходной;

S-НЕ – калибр-скоба гладкий непроходной;

К-ПР – калибр-пробка гладкий контрольный проходной для проходного нового гладкого калибра-скобы;

К-НЕ – калибр-пробка гладкий контрольный непроходной для нового гладкого непроходного калибра-скобы;

К-И – калибр-пробка гладкий контрольный для контроля износа гладкого предельного калибра-скобы.

Предельные размеры, по которым изготовляются новые калибры, а

также осуществляется контроль износа калибров при эксплуатации, называются *исполнительными размерами*.

Задача по расчету и выбору конструкции калибров состоит из следующих этапов:

1. Найти размеры контролируемых деталей с указанием их предельных отклонений.

2. Допуски калибров определить по ГОСТ 24853 – 81 (прил. А, табл. А.6). Построить схемы расположения интервалов допусков калибров для каждой контролируемой детали по данным табл. 1.2 и табл. А.6 прил. А. Общий вид схемы расположения интервалов допусков калибров для номинальных размеров до 180 мм приведены на рис. 1.13, пример – на рис. 1.14.

3. Рассчитать исполнительные размеры рабочих калибров и контрольных калибров по формулам, указанным в табл. 1.2. При расчете руководствоваться ГОСТ 21401 – 75.

4. Выполнить эскизы калибров на листах формата А4 в пояснительной записке (одного калибра-пробки, одного калибра-скобы). Размеры и конструкции калибров выбрать в зависимости от номинального значения контролируемого размера согласно действующих стандартов [30...41]. Примеры эскизов калибров приведены на рис. 1.15.

Таблица 1.2 – Формулы для определения размеров калибров до 180 мм

Калибр			Рабочий калибр			Контрольный калибр		
			Размер	Допуск	Отклонения	Размер	Допуск	Отклонения
Пробка	Проходная сторона новая	*Р-ПР*	$D_{\min} + Z + \frac{H}{2}$	$\pm H/2$	$-H$	-	-	-
	Проходная сторона изношенная	*Р-И*	$D_{\min} - Y$	-	-	-	-	-
	Непроходная сторона	*Р-НЕ*	$D_{\max} + \frac{H}{2}$	$\pm H/2$; $\pm H_s/2$	$-H$; $-H_s$	-	-	-
Скоба	Проходная сторона новая	*S-ПР*	$d_{\max} - Z_1 - \frac{H_1}{2}$	$\pm H_1/2$	$+H_1$	$d_{\max} - Z_1 - \frac{H_1}{2}$	$\pm H_p$	$-H_p$
	Проходная сторона изношенная	*S-И*	$d_{\max} + Y_1$	-	-	$d_{\max} + Y_1$	$\pm H_p$	$-H_p$
	Непроходная сторона	*S-НЕ*	$d_{\min} - \frac{H_1}{2}$	$\pm H_1/2$	$+H_1$	$d_{\min} - \frac{H_1}{2}$	$\pm H_p$	$-H_p$

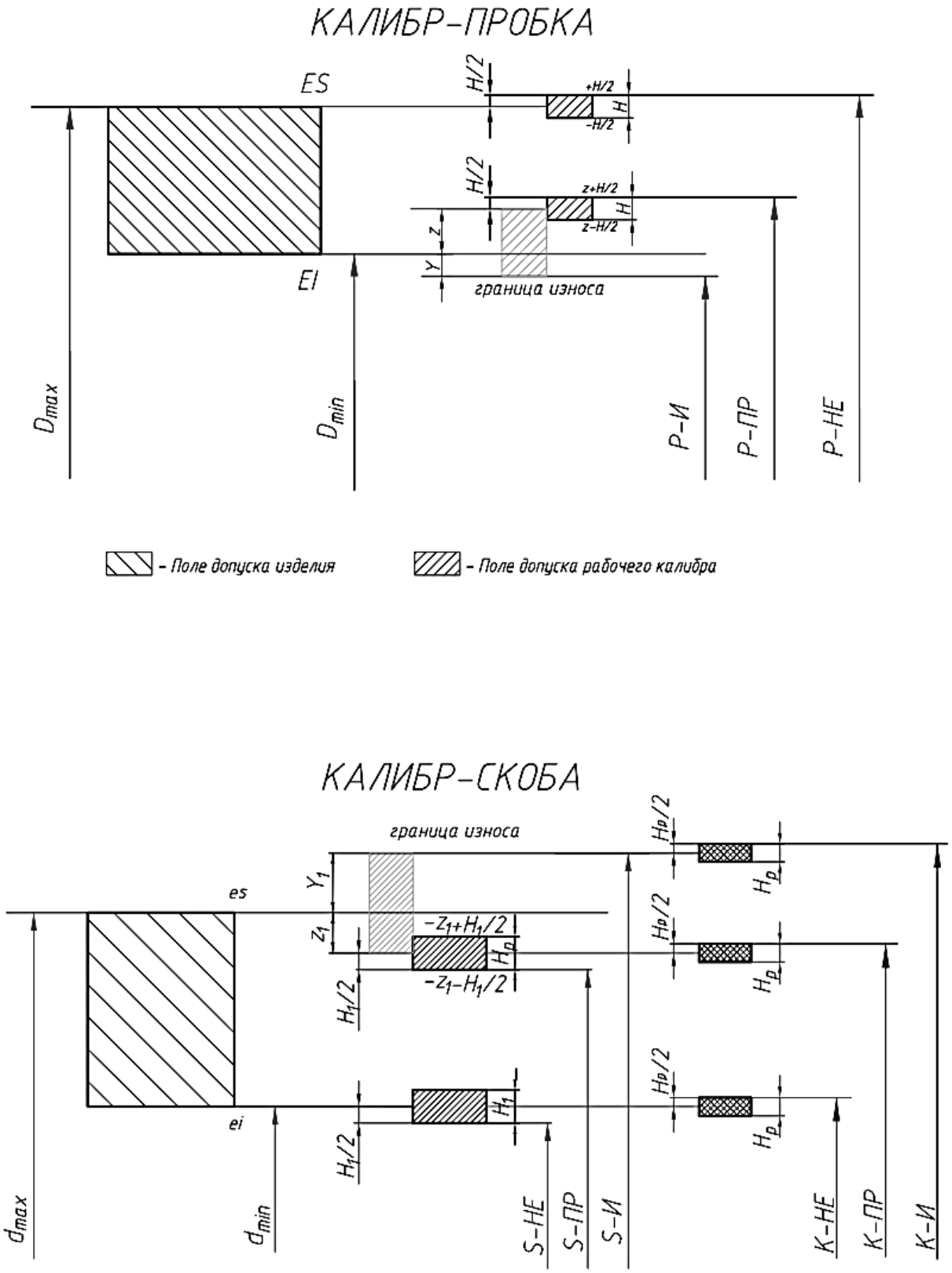
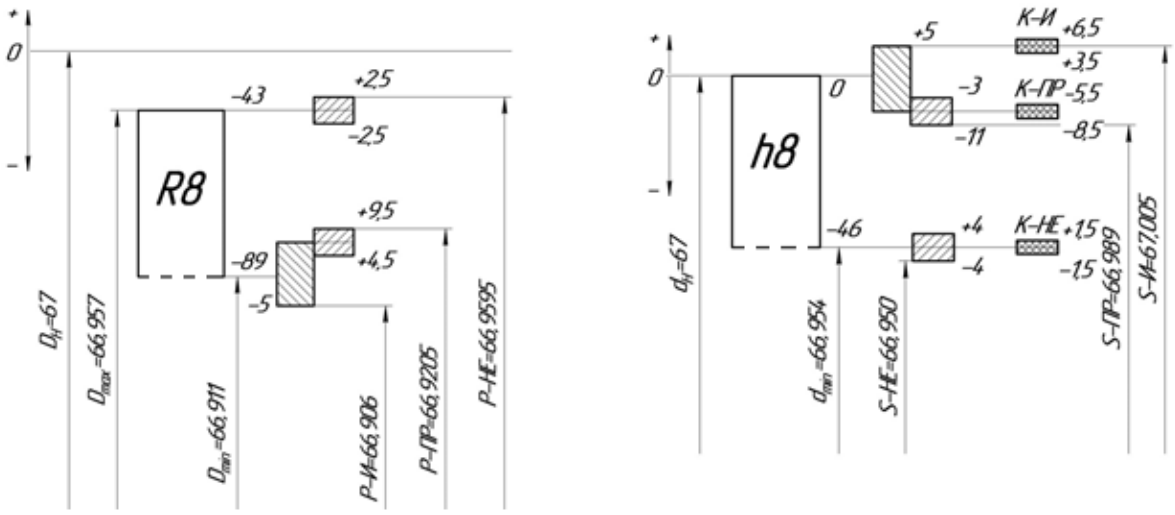
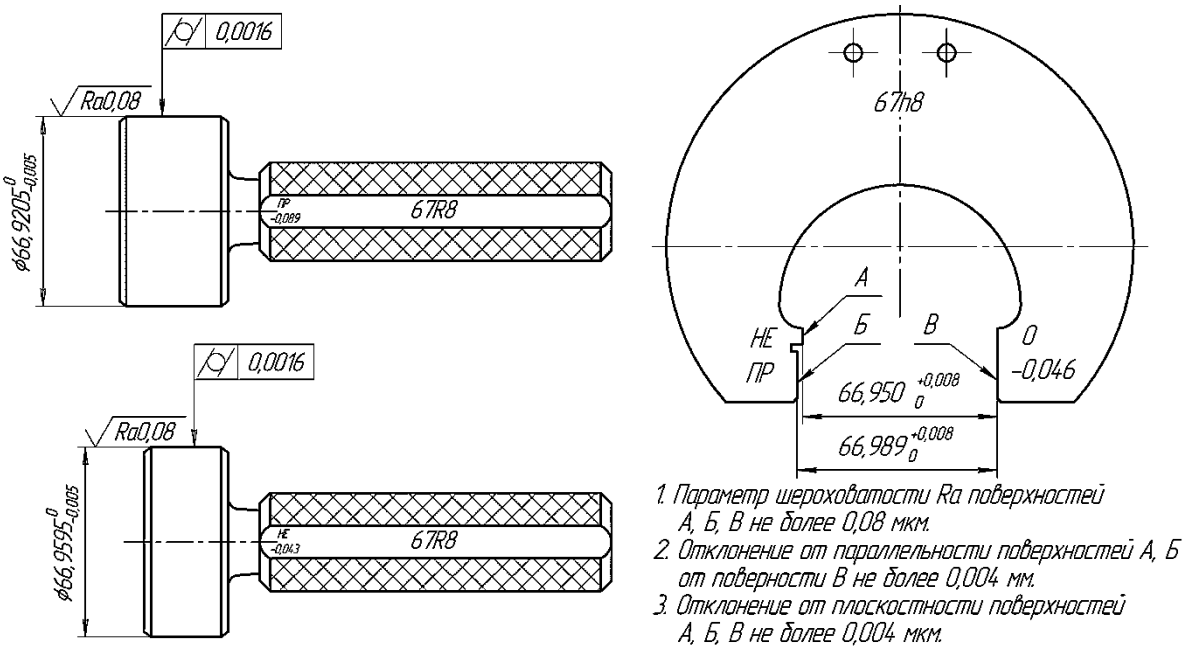


Рисунок 1.13 – Общий вид схемы расположения интервалов допусков калибров для номинальных размеров до 180 мм



а) *б)*

Рисунок 1.14 – Схемы расположения интервалов допусков калибров:
а) калибра-пробки; б) калибра-скобы



а) *б)*

Рисунок 1.15 – Эскизы калибров:
а) калибра-пробки; б) калибра-скобы

Числовые значения параметра шероховатости *Ra* рабочих поверхностей калибров, поверхностей заходных и выходных фасок, конусов хвостовиков вставок и отверстий ручек определяются по табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Параметр шероховатости *Ra* рабочих поверхностей калибров

Вид калибра	Квалитет контролируемого отверстия или вала	Параметр *Ra*, мкм, для диаметров, мм	
		от 0,1 до 100	св. 100 до 350
Калибр-пробка	6	0,04	0,08
	7 – 9	0,08	0,16
	10 – 12	0,16	
	13 и грубее	0,32	0,32
Калибр-скоба	6 – 9	0,08	0,16
	10 – 12	0,16	
	13 и грубее	0,32	0,32
Контрольный калибр	6 – 9	0,04	0,08
	10 и грубее	0,08	0,16

Примечание. Шероховатость поверхностей заходных и выходных фасок, конусов хвостовиков – *Ra* не более 1,25 мкм; конусов отверстий ручек – *Ra* не более 2,5 мкм.

Калибры предельные для контроля глубин и высот уступов конструктивно представляют собой ступенчатые пластины различной формы (рис. 1.16). В отличие от калибров для отверстий и валов, где различают проходную и непроходную стороны, в калибрах для высот и уступов различают сторону для контроля наибольшего предельного размера изделия (обозначается буквой *Б*) и сторону для контроля наименьшего предельного размера изделия (обозначается буквой *М*). На обе стороны, кроме допуска на изготовление, назначают допуск на износ (ГОСТ 2534 – 77).

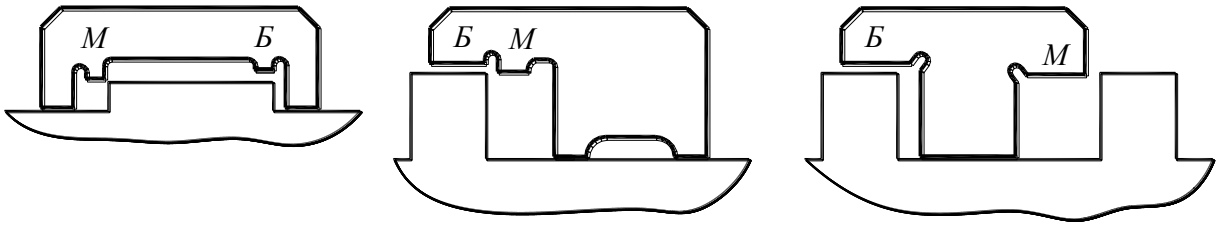


Рисунок 1.16 – Контроль глубин и высот уступов предельными калибрами

Указанные калибры предусмотрены для контроля размеров от 1 до 500 мм, с допусками от *IT11* и грубее.

2 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ УГЛОВ И КОНУСОВ

Углы изделий измеряют тремя основными методами: методом сравнения с жесткими контрольными средствами (угловыми мерами, угольниками, конусными калибрами и шаблонами), абсолютным гониометрическим методом (с использованием приборов с угломерной шкалой) и косвенным тригонометрическим методом, который заключается в определении линейных размеров, связанных с измеряемым углом тригонометрической функцией. Методы и средства контроля инструментальных конусов должны соответствовать ГОСТ 2848 – 75.

Угловые призматические меры (ГОСТ 2875 – 88) являются наиболее точным средством измерения углов в машиностроении. Они применяются для передачи размера единицы плоского угла от эталонов к образцовым угловым мерам и от образцовых мер к рабочим угловым мерам, для поверки и градуировки приборов, предназначенных для измерения углов, а также для непосредственного измерения углов изделий.

Конструкции однозначных и многозначных угловых мер показаны на рис. 2.1.

Рабочие углы α, β, γ и δ мер заключаются между смежными измерительными поверхностями у угловых плиток – мер типа I, II и III; между нормалями к измерительным поверхностям у угловых призм – мер типа IV; между рабочими гранями и основанием у мер типа V. Число граней угловых призм может быть $n = 4...15$ (рис. 2.1, *а*).

Измерительные поверхности угловых плиток обладают свойством притираемости. Плитки комплектуют в наборы. Угловые меры можно применять как отдельно, так и в виде блоков, составленных из нескольких мер. Порядок составления блоков плиток такой же, как у концевых мер длины. У кромок рабочих поверхностей плиток имеются отверстия, через которые с помощью набора принадлежностей плитки соединяются в блоки.

Проверку углов изделий с помощью угловых мер осуществляют двумя способами.

Первый способ аналогичен способу использования концевых мер длины. Меру прикладывают к одной стороне угла изделия и оценивают степень совпадения по другой стороне методом «на просвет» путем сравнения с «образцом просвета» (рис. 2.1, *б*), который состоит из концевых мер длины, притертых к стеклянной пластине и накрытых лекальной линейкой. При хорошей освещенности и определенном навыке просвет размером 4 мкм можно оценить с погрешностью ≈ 1 мкм, погрешность измерения угла при этом $\approx 15''$. Бесконтактные измерения угловыми мерами выполняются на автоколлимационных приборах.

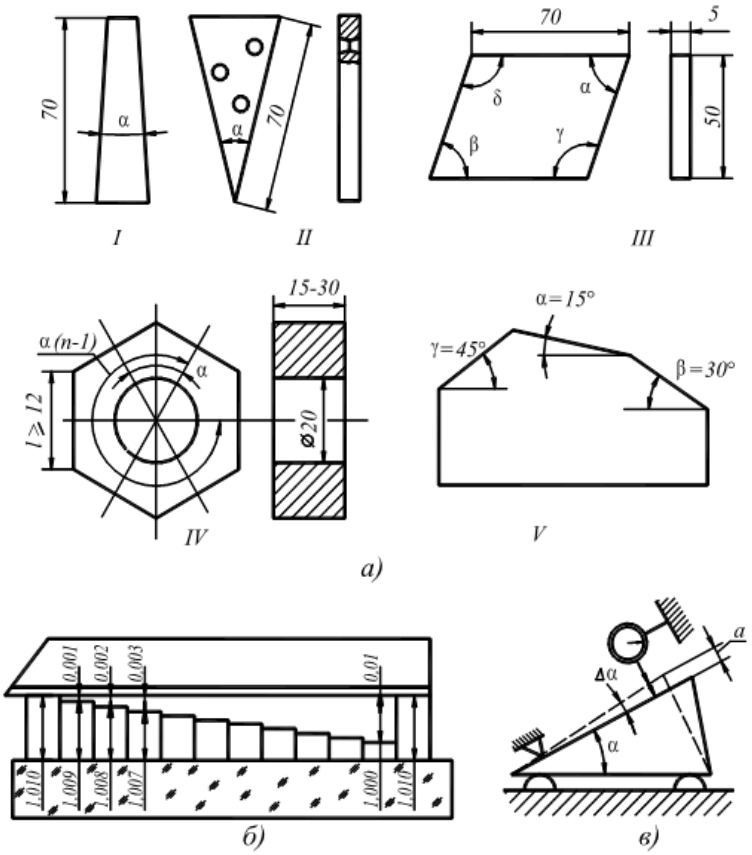


Рисунок 2.1 – Угловые призматические меры

При втором способе угловую меру используют в качестве меры сравнения с контролируемым углом изделия. Отклонение угла Δα изделия от меры определяют с помощью измерительной головки (рис. 2.1, *в*), при этом линейные показания a головки пересчитывают в угловые по формуле $\Delta\alpha = a/l$, где l – расстояние от головки до вершины угла.

Угловые меры выпускаются трех классов точности 0, 1, 2. Многогранные призмы могут иметь также класс 00. Предельные погрешности угловых мер типов I, II, III составляют ±3″ для класса 0, ±10″ для класса 1 и ±30" для класса 2. Соответственно, погрешности углов многогранных призм равны ±2″, ±5″, ±10″ и ±30". Меры типа V используются для поверки синусных линеек и выпускаются класса точности 1 (погрешность ±10″).

Для образцовых угловых мер установлены четыре разряда. Предельные погрешности углов у мер 1-го разряда равны ±0,3″, 2-го разряда ±1″, 3-го разряда ±3″ и 4-го разряда ±6″.

Угольники поверочные 90° (ГОСТ 3749 – 77) предназначены для проверки и разметки прямых углов изделий, для контроля изделий при сборке или монтаже, их часто используют для измерения перпендикулярности одновременно с прямолинейностью перемещения узлов относительно каких-либо поверхностей. Угольники выпускаются трех классов точности 0, 1 и 2.

При контроле опорная поверхность угольника плотно без зазора прижимается к поверхности изделия. По величине зазора между измерительной поверхностью и поверхностью изделия определяют отклонение от прямого угла. Зазор определяют щупом или методом «на просвет», используя «образец просвета».

Конусные калибры – калибры-пробки и калибры-втулки относятся к группе нормальных калибров. Они применяются для контроля диаметральных размеров и комплексного контроля отклонений угловых размеров и формы наружных и внутренних конических поверхностей с допусками диаметров от *IT4* до *IT12* и степенями точности допусков углов конусов от *AT4* до *AT9* (ГОСТ 24932 – 81). Существуют два способа использования конусных калибров – контроль базорасстояния и комплексный контроль.

При контроле базорасстояния (рис. 2.2) торец годного внутреннего конуса *1* должен находиться между рисками *2*, нанесенными на поверхности калибров-пробок *3* и расположенными друг относительно друга на расстоянии, равном допуску базорасстояния Z. Торец годного наружного конуса должен находиться между контрольными плоскостями уступа калибров-втулок *4*. Расстояние между контрольными плоскостями также равно допуску базорасстояния Z.

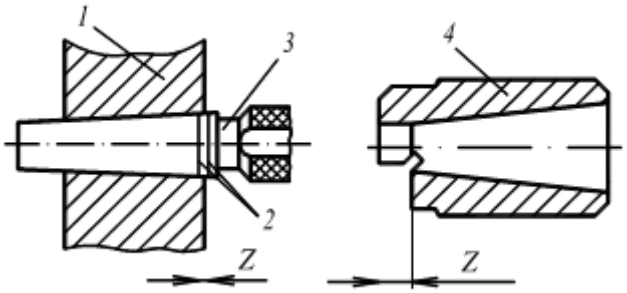


Рисунок 2.2 – Конусные калибры

При комплексном контроле на краску проверяется полнота прилегания сопрягаемых поверхностей. Краску наносят на предварительно очищенную наружную поверхность слоем толщиной 2...5 мкм. Толщину слоя краски определяют по «образцу интенсивности окраски». Калибр сопрягают с конусом и поворачивают не более чем на 3/4 оборота при нажатии вдоль оси. У годных конусов пятно контакта без круговых разрывов располагается со стороны большего диаметра и составляет не менее 90% площади.

К приборам с угломерной шкалой измерительные средства с угломерной шкалой, которая в принципе представляет собой многозначную угловую меру. Когда эта мера имеет диапазон 360° (замкнутая шкала), ее чаще всего называют лимбом. Типичными и наиболее известными приборами являются угломеры с нониусом, оптические угломеры, гониометры, оптические делительные головки, уровни и др.

Угломером называется накладной прибор для измерения углов, в котором отсчет угла по шкале производят с помощью нониуса (ГОСТ 5378 – 88). Конструкции угломеров рассмотрены подробно в лабораторной работе №10 [1], они зависят от пределов измерения (до 180° или 360°), от возможности измерения внутренних и наружных углов. Обычно они имеют цену деления нониуса 2', 5' или 10'. Допускаемые погрешности угломеров равны цене деления нониуса.

Оптический угломер [2], предназначен для измерения углов 0...180° контактным методом между двумя плоскостями или между плоскостью и образующей цилиндра (рис. 2.3).

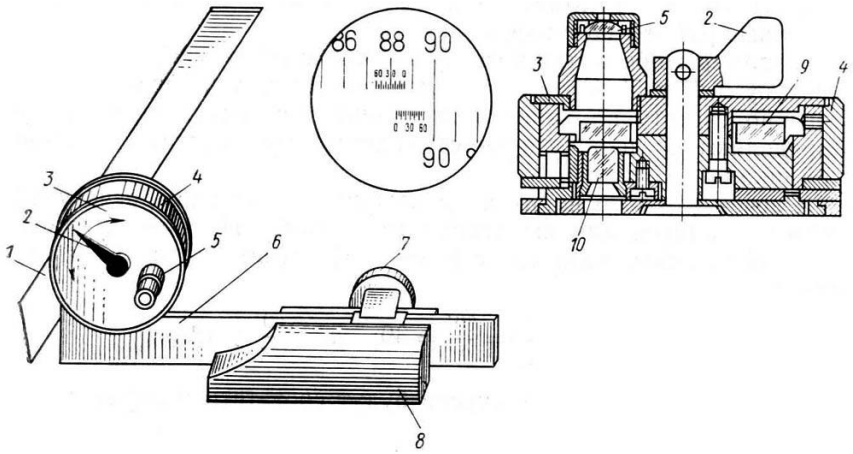


Рисунок 2.3 – Оптический угломер

Угломер имеет цилиндрический корпус, с которым жестко скреплена линейка *6* со сквозным продольным пазом. Сменная линейка *1* может поворачиваться относительно линейки *6* и перемещаться в продольном направлении. При больших углах поворота конец линейки *1* входит в паз линейки *6*. На верхней крышке *3* установлена отсчетная лупа *5* с увеличением 16×. Линейка *1* может быть зафиксирована в продольном направлении поворотом рычага *2*. Установленный угол линейки *1* фиксируется поворотом накатанного кольца *4*. Прилагаемая к угломеру съемная подставка *8* имеет плоскую и призматическую рабочие поверхности. Подставка фиксируется винтом *7*.

Шкала угломера нанесена на стеклянной пластине *9* и состоит из четырех секторов по 90°, с ценой деления 1°, оцифрованных от 0 до 90° через 2°.

На стекле *10* нанесены прямая и обратная минутные шкалы с ценой деления 5'. В поле зрения лупы *5* одновременно видны обе минутные шкалы и часть градусной шкалы, освещенных через стекло *10*. Отсчет целого числа градусов производится по делению шкалы, находящемуся в пределах минутной шкалы, отсчет минут производится по минутной шкале относительно штриха градусной шкалы. На рис. 2.3 отсчет равен 88° 30'.

При измерении углов отпускают зажимное кольцо *4* и прижимают рабочие грани линеек к плоскостям, образующим измеряемый угол, после чего кольцом *4* фиксируют установленный угол и производят отсчет в лупу *5*.

Погрешность показаний оптических угломеров с ценой деления 5' не должна превышать 2,5' при поверке без подставки и 5' при поверке с подставкой.

Гониометром называется оптико-механический прибор для измерения углов, образованных плоскими поверхностями, способными отражать световые лучи [3]. Они используются в основном для аттестации призматических угловых мер, угловых призм из стекла и металла. Принцип измерения на гониометре заключается в том, что осуществляют последовательную фиксацию положения плоских поверхностей измеряемого угла и при каждой фиксации отсчитывают значение угла по лимбу гониометра. Обычно используют два способа измерения – коллимационный и автоколлимационный.

Гониометры изготавливают с ценой деления 1", 2", 5", 10", 30". Допускаемая погрешность гониометров составляет не более цены деления.

Оптические делительные головки. Оптической делительной головкой называется оптико-механический прибор для измерения и разметки углов у деталей, устанавливаемых в центрах. Она позволяет измерять углы поворота шпинделя относительно своей оси или поворота корпуса головки относительно горизонтали. Оптические делительные головки применяют также в качестве приспособления на фрезерных, шлифовальных и других станках, когда требуется сообщить обрабатываемой детали точный угол поворота. Оптические делительные головки изготовляют с ценой деления шкалы C = 1"; 2"; 5" и 20". Допускаемая погрешность измерений $\Delta\alpha = \pm(C + \sin\alpha/2)$, где α – измеряемый угол, °.

Уровни предназначены для контроля горизонтального и вертикального положения плоских и цилиндрических поверхностей и определения отклонений от этих положений. К основным типам уровней относятся брусковые и рамные (ГОСТ 9392 – 89), с микрометрической подачей ампулы (ГОСТ 11196 – 74), гидростатические (ТУ 2.034 – 7 – 84) и электронные (ТУ 2 – 034 – 3 – 83).

Наибольшее распространение получили ампульные уровни, у которых чувствительным элементом является ампула. Ампула уровней (рис. 2.4) представляет собой запаянную цилиндрическую трубку, заполненную жидкостью так, что внутри трубки остается пузырек воздуха, насыщенный парами этой жидкости, который является указателем. Внутренняя поверхность ампулы имеет бочкообразную форму, поэтому при горизонтальном расположении уровня пузырек занимает верхнее положение. На наружной поверхности ампулы нанесена шкала с интервалом делений 2 мм.

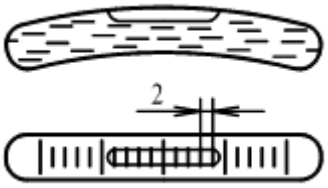


Рисунок 2.4 – Ампула ампульного уровня

При наклоне уровня пузырек перемещается относительно нейтрального положения (нуль-пункта) пропорционально углу наклона. По шкале ампулы измеряют наклон уровня в миллиметрах, отнесенный к длине, равной 1 м. Цена деления ампул уровней составляет 0,02; 0,05; 0,10 и 0,15 мм/м и погрешность не должна превышать соответственно 0,004; 0,007; 0,015 и 0,02 мм/м.

В гидростатических уровнях используется свойство сообщающихся сосудов. Уровень состоит из двух или нескольких измерительных головок, соединенных между собой воздушными и жидкостными гибкими трубопроводами. В процессе измерения одна из измерительных головок располагается в исходной точке измерительной поверхности, а другая головка – в намеченной точке измерения. Вследствие отклонения от прямолинейности контролируемой поверхности уровень жидкости во второй головке изменится. Разность отсчетов по обеим головкам является отклонением от прямолинейности намеченной точки измерения от исходной.

Принцип действия электронных уровней заключается в том, что в корпусе прибора подвешен груз, являющийся якорем индуктивного датчика. При наклоне корпуса якорь занимает постоянное положение, направленное перпендикулярно горизонтальной плоскости, и смещение его относительно катушек, неподвижно закрепленных в корпусе, изменяет индуктивность катушек. Такие уровни изготовляют с ценой деления от 2" до 20". Достоинство таких уровней заключается в дистанционности измерения, в возможности суммирования двух или нескольких показаний, в малых габаритных размерах узла, непосредственно устанавливаемого на измеряемую поверхность.

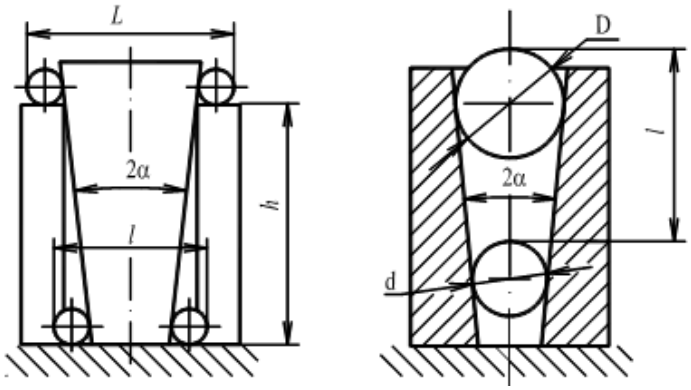
Оптические квадранты – приборы, в которых угломер соединен с уровнем [3]. Они предназначены для измерения углов наклона плоских и цилиндрических поверхностей различных изделий. Квадрант имеет основание и корпус, внутри которого установлен неподвижный лимб, вращающуюся крышку, на которой укреплены уровень и микроскоп. Для измерения угла наклона к горизонту квадрант устанавливают на поверхность изделия и вращают крышку до тех пор, пока пузырек уровня не займет среднее положение. Для грубого отсчета угла поворота служит шкала на крышке с ценой деления 5°, точные измерения выполняют с помощью микроскопа.

Оптические квадранты выпускают трех типов с ценой деления отсчетного устройства 2", 10", 60" и имеют допускаемую погрешность при установке на плоскую поверхность, соответственно ±2", 5" и 20". При установке на цилиндрическую поверхность погрешность прибора в 2 раза больше.

Косвенные измерения углов конусов можно выполнять универсальными средствами измерений с помощью калиброванных роликов и шариков [4].

При измерении конусов используют синусную или тангенсную схему в зависимости от того, какие стороны треугольника, образующего угол, будут измерены. При тангенсной схеме измерения наружного конуса (рис. 2.5, *а*) деталь устанавливают на плите и микрометром измеряют расстояния l и L между наружными точками роликов, помещенных на плите и на концевых мерах длины размером h. Угол конуса определяют по формуле:

$$tg\alpha = (L - l)/2h.$$



а) *б)*

Рисунок 2.5 – Косвенные измерения углов

При синусной схеме измерения внутреннего конуса (рис. 2.5, *б*) в отверстие вводят шарики диаметрами d и D и с помощью глубиномера или длиномера находят расстояние l между верхними точками шариков. Угол конуса находят из выражения:

$$\sin\alpha = (D - d)/(2l - D + d).$$

Синусные линейки (ГОСТ 4046 – 80) для косвенных измерений углов 0...45° выпускают трех типов: ЛС – без опорной плиты с одним наклоном; ЛСО – с опорной плитой с одним наклоном; ЛСД – с опорной плитой с двумя наклонами.

Синусные линейки выпускают классов точности 1 и 2. Допускаемые погрешности при предельном угле измерения α=45° для линеек типа ЛС класса точности 1 (2) не превышают ±6" (±10"), для линеек типа ЛСО – ±8" (±12"), для линеек типа ЛСД – ±10" (±15").

3 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЬБЫ

Точность резьбы можно контролировать дифференциальным (поэлементным) или комплексным методами [5].

Комплексный метод контроля применяют для резьбовых деталей невысокой точности, допуск среднего диаметра которых является суммарным. Он основан на одновременном контроле среднего диаметра, шага, половины угла профиля, внутреннего и наружного диаметров резьбы путем сравнения действительного контура резьбовой детали с предельным. Это достигается с помощью предельных калибров.

Дифференциальный метод используют для измерения точных резьб (калибров-пробок, резьбообразующего инструмента и т.п.).

При выборе средства измерения следует учитывать, что допустимая погрешность измерения δ должна быть меньше предполагаемой погрешности измеряемой величины.

С учетом составляющих погрешностей принципа измерения допустимую погрешность измерительного средства принимаем равной

$$\delta \le 0{,}1T,$$

где T – допуск на измеряемый параметр.

Измерение среднего диаметра наружной резьбы d_2, в зависимости от требуемой точности, производится (табл. 3.1) приборами с резьбовыми вставками, контактными приборами с помощью трех проволочек (косвенные измерения), проекционными приборами (для резьб с нечетным числом заходов).

Наружный диаметр d измеряют обычно универсальным прибором требуемой точности, внутренний диаметр d_1 – с помощью специальных остроконечных вставок к микрометру или проекционными приборами, шаг P и угол $\alpha/2$ – проекционными приборами.

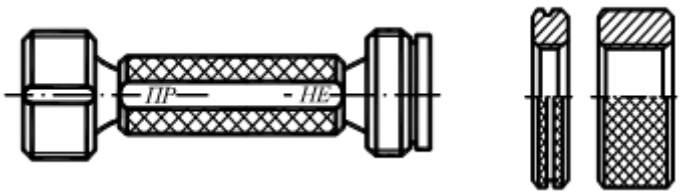
Измерение среднего диаметра внутренней резьбы свыше 18 мм измеряют на горизонтальном оптиметре с помощью специальных шаровых наконечников, а также резьбовыми нутромерами с резьбовыми вставками.

Шаг и угол внутренней резьбы измеряют по слепкам и отливкам, получаемым путем заливки внутренней резьбы специальными сплавами.

Таблица 3.1 – Предельные погрешности измерения параметров наружной резьбы

Параметры резьбы	Наименование средства измерения		Диапазон измерения, мм (град.)	Предельная погрешность измерения $\pm\delta$, мкм (мин)
Средний диаметр d_2	Микрометры с резьбовыми вставками		0-25 25-50	100
	С помощью трех проволочек	Микрометры гладкие	0-25 25-50	7,0 9,0
		Оптиметры вертикальные	1-50	2,0
		Длиномеры вертикальные типа ИЗВ-1, ИЗВ-2, ИЗВ-3	1-10 10-50	3,0 3,5
	Микроскопы измерительные универсальные типа УИМ-21, УИМ-23		1-18 18-50	8,5 9,0
Шаг резьбы P	Микроскопы измерительные универсальные типа УИМ-21, УИМ-23		1-20 20-50 50-80	4,0 5,0 6,0
Половина угла профиля $\alpha/2$	Микроскопы измерительные универсальные типа УИМ-21, УИМ-23		30°	6,5...8,5 при $P = 1{,}5\ldots2{,}5$ мм 5,0...6,5 при $P = 2{,}5\ldots5{,}0$ мм

Контроль резьбы калибрами Основным методом контроля параметров резьбовых изделий в производственных условиях является контроль с помощью комплекта калибров, в который входят: рабочие гладкие и резьбовые проходные (ПР) и непроходные (НЕ) калибры-пробки (рис. 3.1,а) и калибры – кольца (рис. 3.1,б), а также резьбовые калибры-скобы.



а) б)

Рисунок 3.1 – Резьбовые калибры

Для контроля и регулирования (установки) рабочих резьбовых скоб и колец применяют контрольные калибры (КПР – ПР, КПР – НЕ, У – ПР, У – НЕ, КНЕ – ПР, КНЕ – НЕ, КИ – НЕ).

Резьбовые проходные калибры-пробки и калибры – кольца имеют полный профиль, с их помощью контролируют приведенный средний диаметр резьбы, учитывающий влияние всех ее параметров на свинчиваемость. Непроходные резьбовые калибры имеют укороченный профиль и небольшое

число витков резьбы, ими контролируют только средний диаметр резьбы. Непроходные калибры не должны свинчиваться с годным изделием более чем на два витка. Подробно конструкции калибров рассмотрены в методических указаниях [1].

Измерение среднего диаметра резьбы резьбовым микрометром. Резьбовой микрометр служит для измерения среднего диаметра крепежных резьб. По конструкций этот микрометр аналогичен гладкому микрометру и отличается от последнего, главным образом, устройством пятки и микровинта (в пятке и конце микровинта резьбового микрометра имеются отверстия, в которые вставляются сменные вставки). При измерении среднего диаметра резьбы применяются две вставки (рис. 3.2), одна из которых имеет конусообразную форму, другая – призматическую.

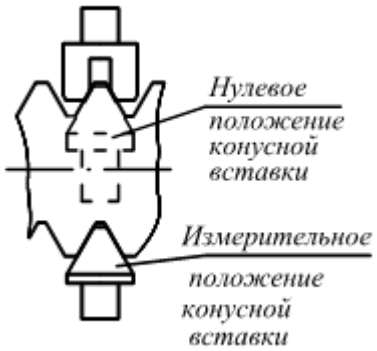


Рисунок 3.2 – Измерение среднего диаметра резьбы резьбовым микрометром

Каждая пара вставок предназначена для измерения резьб с определенным шагом. Выпускаются микрометры для измерения резьб диаметром от 0 до 350 мм с интервалом 25 мм: 0…25, 25…50, ... 325…350 мм. Цена деления барабана – 0,01 мм. Предельная погрешность микрометра зависит от шага и диаметра резьбы и может составлять от ±10 до ±30 мкм.

Измерение среднего диаметра резьбы методом трех измерительных проволочек

Для измерения среднего диаметра методом трех проволочек во впадины резьбы вкладывают три калиброванные проволочки одинакового диаметра $d_{\text{пр}}$ так, как это указано на рис. 3.3,а.

Проволочки должны иметь такой диаметр, чтобы касание их с витками резьбы проходило в точках, лежащих на образующей воображаемого цилиндра, пересекающего резьбу в точках (рис. 3.3,б), определяющих средний диаметр (т.е. где ширина канавки равна половине номинального шага резьбы).

Для резьб с симметричным профилем:

$$d_{пр} = \frac{P}{2\cos\frac{\alpha}{2}}.$$

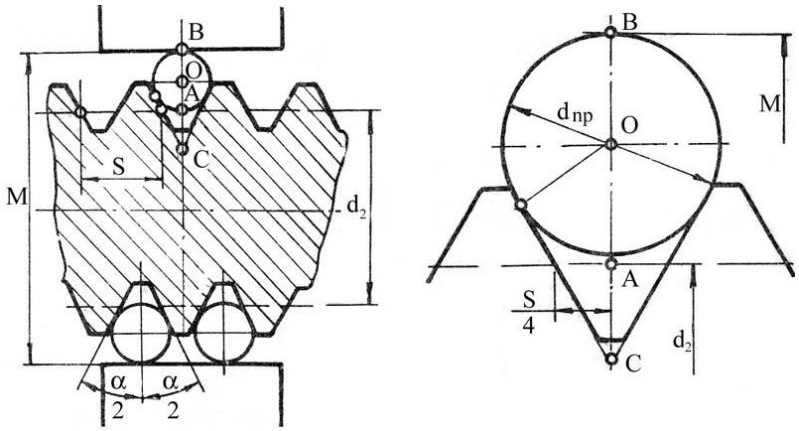


Рисунок 3.3 – Измерение среднего диаметра резьбы методом трех измерительных проволочек

Для метрических резьб с $\alpha = 60°$:

$$d_{пр} = 0{,}5774P.$$

При измерении проволочками такого предпочтительного диаметра погрешности угла α проверяемой резьбы не влияют на погрешность измерения. Диаметры проволочек выбирают в зависимости от шага измеряемой резьбы.

Далее микрометром или другим измерительным прибором с плоскими мерительными поверхностями измеряют расстояние M между образующими проволочек.

Результат измерения не дает непосредственного значения среднего диаметра резьбы (косвенные измерения). Величина определяется расчетом.

Для метрических резьб:

$$d_2 = M - 3d_{пр} + 0{,}866P.$$

Измерение элементов резьбы на инструментальном микроскопе

На микроскопах основные параметры наружной резьбы измеряют теневым методом в проходящем свете. При измерении среднего диаметра наружной резьбы перекрестие визирной трубки сначала наводят на верхний профиль резьбы, затем на нижний (рис. 3.4). За результат измерения принимают полусумму результатов измерений среднего диаметра по правой и левой сторонам профиля. При этом в значительной мере уменьшается влияние погрешности шага. Однако теневое изображение профиля резьбы в этом случае из-за влияния угла подъема резьбы является искаженным, поэтому для контроля среднего диаметра часто используют приспособления с ножами, проволочками или вставками.

Для предостережения от погрешности из-за возможного перекоса осей изделия рекомендуется при измерении среднего диаметра резьбы произвести аналогичное измерение по другой стороне профиля и подсчитать среднее арифметическое результатов измерения (рис. 3.4).

Для того чтобы можно было судить не только о величине угла, но и о наклоне профиля к оси резьбы, измерение рекомендуется производить по половинам угла, совмещая штриховую линию сетки поочередно с правой и левой сторонами профиля. Сумма результатов измерения является величиной угла, а их равенство показывает перпендикулярность биссектрисы угла к оси резьбы

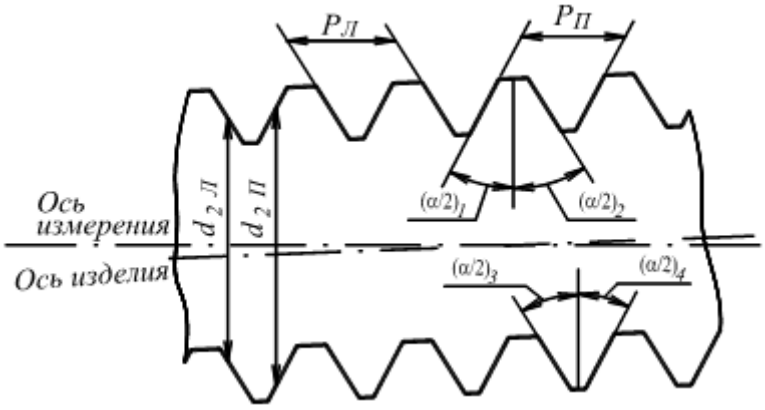


Рисунок 3.4 – Схема измерения среднего диаметра, угла профиля и шага резьбы

Предварительно градусную шкалу устанавливают на 0, 90, 180 или 270°, чтобы одна из линий штриховой сетки была перпендикулярна оси резьбы и одно из указанных значений принимают за начало первого отсчета. Затем линию штриховой сетки, перпендикулярную оси резьбы, совмещают поочередно в противоположных направлениях правой стороны профиля, произведя второй отсчет, и подсчитывают среднее значение $(\alpha/2)_{прав}=(\alpha_2/2+\alpha_4/2)/2$. Аналогичные действия производят по левой стороне профиля $(\alpha/2)_{лев}=(\alpha_1/2+\alpha_3/2)/2$.

Измерение шага резьбы производится продольным перемещением микровинта или с применением плоскопараллельных концевых мер, что исключает погрешность микровинта. При этом колонку наклоняют на угол подъема резьбы, совмещают с помощью микровинтов поперечного и продольного хода и вращения сетки окулярной головки штриховую линию сетки со стороной профиля и производят первый отсчет. Затем перемещают стол в продольном направлении до совпадения этой штриховой линии с соответствующей стороной профиля через один или несколько шагов резьбы, производят второй отсчет и узнают разность отсчетов. Для получения более точных результатов рекомендуется измерение шага производить по правым и левым сторонам профиля на двух противоположных сторонах (рис. 3.4).

4 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

1. Измерение отклонений формы. Отклонения формы определяют с помощью универсальных и специальных средств измерения. При этом используют поверочные чугунные плиты и плиты из твердых каменных пород, поверочные линейки, угольники, призмы, плоскопараллельные концевые меры длины, уровни, натянутые струны и оптико-механические приборы, в которых роль образцовой прямой выполняет луч света.

Методы измерений отклонений от прямолинейности в зависимости от количества измеренных точек делятся на непрерывные и дискретные (шаговые) и осуществляются одним из следующих способов:

- непосредственно по показаниям отсчетного устройства. В этом случае деталь предварительно выставляется таким образом, чтобы показания на концах измеряемого участка были одинаковыми и за отклонение от прямолинейности принимается алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим показаниями;
- по профилограмме измеренного профиля. В этом случае на диаграмме проводят прилегающую прямую, которая касается профилограммы либо в двух выступающих точках (вогнутая форма), либо в одной точке, проходя параллельно касательной к профилограмме, проведенной через две наинизших точки (выпуклая форма) и отклонение от прямолинейности определяется как наибольшее в направлении оси ординат отклонение от прилегающей прямой до наинизшей точки профилограммы;
- с помощью ЭВМ, в которой результаты измерения пересчитываются на отклонения относительно средней или прилегающей прямой.

Измерение отклонений от прямолинейности производится с помощью поверочных линеек, уровней, с использованием коллимационного и автоколлимационного методов, метода оптического визирования и измерения сравнением с точными направляющими прибора. На рис. 4.1 показаны примеры схем измерений отклонений от прямолинейности.

При измерении отклонений от прямолинейности с применением поверочной линейки и измерительной головки (или концевых мер длины) (рис. 4.1,а) поверочную линейку *2* устанавливают на двух опорах *5* (неподвижная опора) и 6 (регулируемая опора) в точках наименьшего прогиба. Измерительной головкой *4*, закрепленной в специальной стойке или каретке *3*, измеряют расстояния между профилем измеряемой детали *1* и линейкой в отдельных точках и строят профилограмму.

Количество точек измерения выбирают из таблиц в зависимости от длины нормируемого участка. Вместо измерительной головки могут использоваться концевые меры длины.

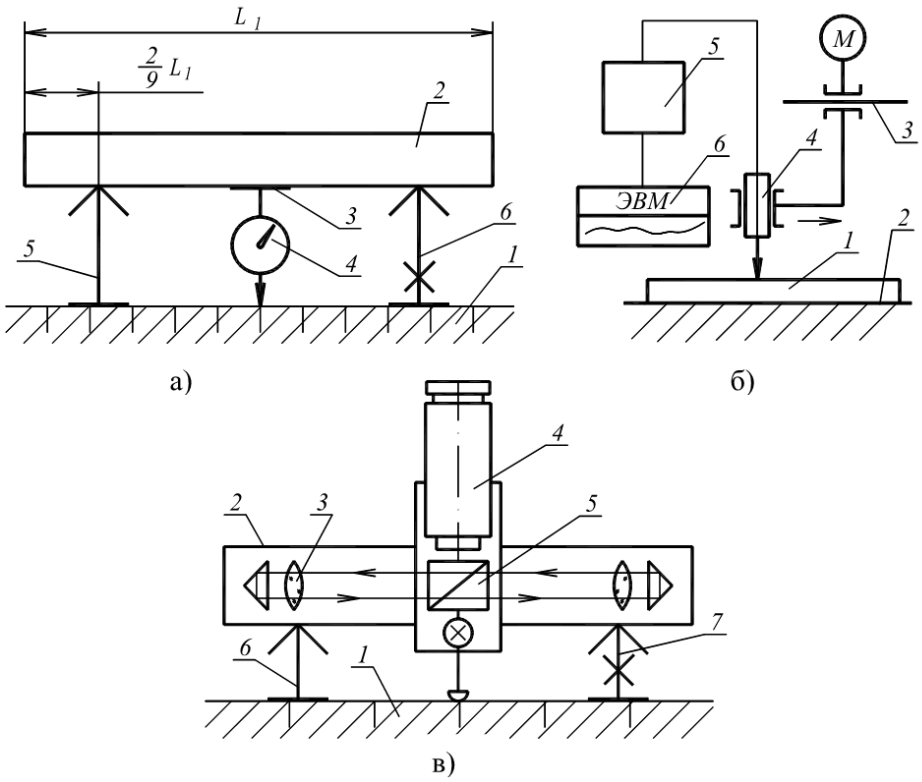


Рисунок 4.1 – Схемы измерения отклонений
от прямолинейности

При измерении прибором (прямомером) с прецизионным прямолинейным перемещением (рис. 4.1,б) сравнивают профиль детали с траекторией точного прямолинейного перемещения. Измеряемую деталь *1* устанавливают на измерительный стол *2*. Измеряемый профиль ориентируют по направлению перемещения электрического измерительного преобразователя *4* в прецизионных направляющих *3*. Измеренные отклонения профиля через электронный блок *5* регистрируются записывающим устройством *6* или вводятся в ЭВМ.

На рис. 4.1,в показана схема измерения отклонений от прямолинейности с помощью оптической линейки *3*. Мерой прямолинейности является оптическая ось линейки. Линейка устанавливается на неподвижной *6* и регулируемой *7* опорах на измеряемой поверхности *1*. Подвижный узел *4* прибора перемещается по направляющим в корпусе *2* и ощупывает профиль в заданных точках. Различие в высотах измеряемых точек приводит к смещению визирной марки *5* относительно оптической оси прибора, которое определяется с помощью измерительного микроскопа. По измеренным высотам отдельных точек строится профилограмма.

Методы измерений отклонений от плоскостности в основном являются дискретными: поверхность измеряется в отдельных точках. Чем больше число измеряемых точек, тем полнее результат измерения соответствует стандартному определению отклонения о плоскостности.

Для прямоугольных поверхностей точки измерения располагают на продольных, поперечных и диагональных сечениях (рис. 4.2,а). Количество точек измерения на линии измерения в продольном направлении определяется по таблице в зависимости от длины нормируемого участка L_1 в этом направлении. Для измерений в поперечном направлении обычно принимают $t_1 \approx t_2$.

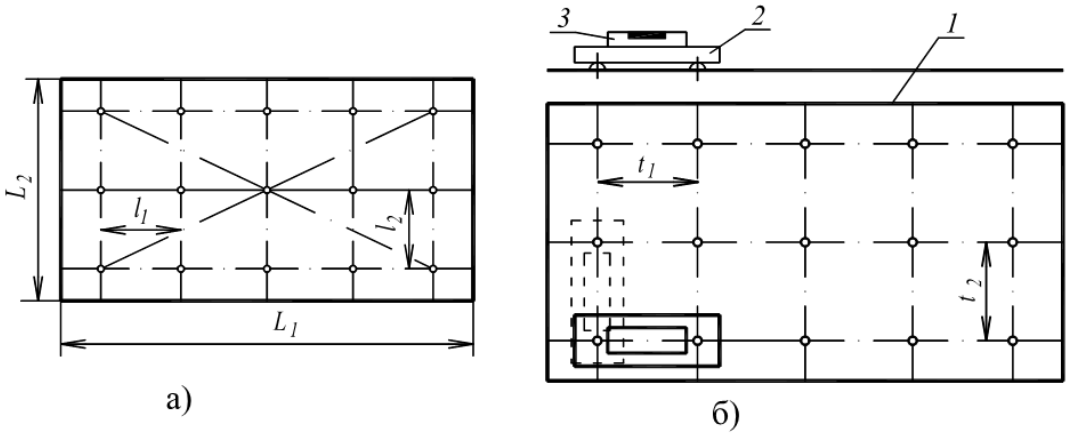


Рисунок 4.2 – Схема измерения отклонений от плоскостности

Оценка отклонений от плоскостности производится на основе математической модели измеренной поверхности – значений расстояний измеренных точек от плоскости, принятой за базу при измерении, с учетом координат этих точек в базовой плоскости. Обработка результатов измерения по математической модели может осуществляться графическими методами построения прилегающей плоскости, расчетными способами (главным образом с помощью ЭВМ) и непосредственно по показаниям отсчетного устройства как разность между наибольшим и наименьшим показаниями.

Измерение отклонений от плоскостности производится с применением методов измерения отклонений от прямолинейности, с помощью плит, поверочных линеек, плоскомеров, КИМ, гидравлическими (по уровню жидкости), интерференционными методами и т.п. На рис. 4.2,б приведена схема измерения отклонения от плоскостности двухопорным измерительным мостиком и уровнем. Измеряемая деталь *1* с расположением точек измерения выверяется приблизительно горизонтально. Двухопорный измерительный мостик *2* с установленным на нем уровнем *3* перемещается шагами t_1 и t_2 по взаимно параллельным продольным и поперечным сечениям. По результатам измерения наклонов соседних участков находятся относительные высоты их концов и математическая модель измеренной поверхности относительно плоскости, перпендикулярной направлению силы тяжести земли.

Для определения отклонений от круглости применяют одно-, двух- и трехточечные приборы, кругломеры с прецизионным вращением детали.

Для воспроизведения реального профиля детали служат кругломеры.

Схема измерения изображена на рис. 4.3,а. При измерении реальный профиль сравнивается с траекторией точного вращения шпинделя *2* прибора. Различают кругломеры с вращающимся измерительным преобразователем при неподвижном столе и детали и с вращающимся предметным столом при неподвижном преобразователе *3*. Перед измерением деталь *1* центрируют и нивелируют относительно оси шпинделя прибора. Наконечник, соприкасаясь с поверхностью детали, совершает радиальные перемещения, которые автоматически в увеличенном масштабе вычерчиваются в полярных координатах записывающим механизмом на круглограмме.

Числовые значения отклонений от круглости определяют с помощью прозрачного шаблона с концентрическими окружностями, накладываемого на круглограмме и перемещаемого до тех пор, пока одна из окружностей не займет положение прилегающей. Возможно применение ЭВМ для автоматического определения базовой окружности (средней или прилегающей) и отклонения от круглости. В электрических схемах кругломеров предусмотрены частотные фильтры, позволяющие определять составляющие отклонений: эксцентриситет, овальность, огранки разных порядков, волнистость и т.д.

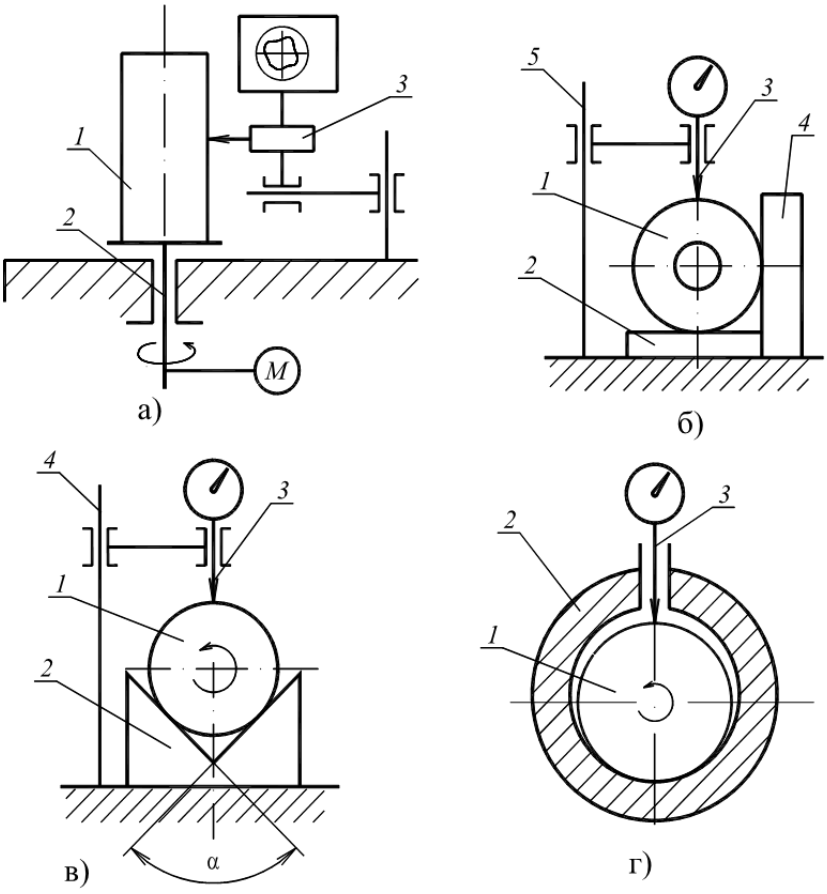


Рисунок 4.3 – Схемы измерения отклонений от круглости

На рис. 4.3,б приведена схема двухточечного измерения отклонений от круглости. В процессе измерения деталь *1* устанавливают между измерительной головкой *3* и неподвижной опорой *2*, поворачивают не менее чем на 180° и фиксируют разность между наибольшим и наименьшим диаметрами сечения. Этот метод используют в тех случаях, когда отклонение от круглости имеет характер овальности или огранки с четным числом граней.

Огранку с нечетным числом граней невозможно обнаружить ни одноточечными, ни двухточечными приборами. Для этого используют базирование на призме или в кольце. При определении огранки на призме (рис. 4.3,в) различают симметричную схему измерения, когда измерительный наконечник располагается на биссектрисе угла призмы α и несимметричную схему, когда измерительный наконечник располагается под углом к биссектрисе. Измеряемую деталь *1* устанавливают в призме *2* и вращают. На стойке *4* установлена измерительная головка *3*. Определяют наибольшее изменение показаний головки за один оборот. Показания прибора умножают на поправочный коэффициент F_n зависящий от числа граней и угла призмы.

При измерении в кольце (рис. 4.3,г) измеряемая деталь *1* сопрягается с образцовой по форме деталью *2*, которая в ограниченном диапазоне диаметров материализует прилегающую окружность. Измерительной головкой *3*, закрепленной неподвижно на образцовой детали, регистрируется максимальная разность показаний за один оборот измеряемой детали относительно образцовой.

Измерение отклонения профиля продольного сечения рекомендуется проводить не менее чем в трех, расположенных равномерно по окружности, продольных сечениях. В каждом продольном сечении измеряются обе образующие непрерывным или дискретным методом. За отклонение профиля продольного сечения принимается наибольшая из величин, измеренных в разных сечениях. На рис. 4.4 показана схема измерения отклонения профиля продольного сечения с применением двухточечного измерительного прибора.

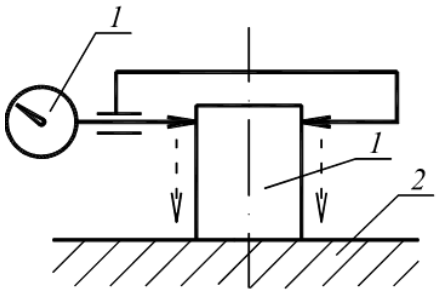


Рисунок 4.4 – Измерение профиля продольного сечения двух-точечным прибором

При измерении отклонений от цилиндричности используют метод поперечных сечений, метод образующих, метод винтовой линии и метод экстремальных сечений. На рис. 4.5 показана схема цилиндромера с вращающейся измеряемой деталью *1*. Возможна также схема с вращающимся измерительным преобразователем. Кроме вращающегося точного шпинделя со столом *2* прибор имеет прецизионную прямолинейную направляющую с приводом *9*, выставленную параллельно оси вращения шпинделя. Перед измерением деталь центрируют по плоскости *7* и нивелируют по плоскости *8*, которые находятся на границах нормируемого участка. С помощью измерительного преобразователя *3* поверхность измеряется по отдельным линиям, данные обрабатываются в электронном блоке *4* и записываются профилограммы *5* измеренных сечений. При подключении ЭВМ в соответствии с программой вычисляется отклонение от цилиндричности.

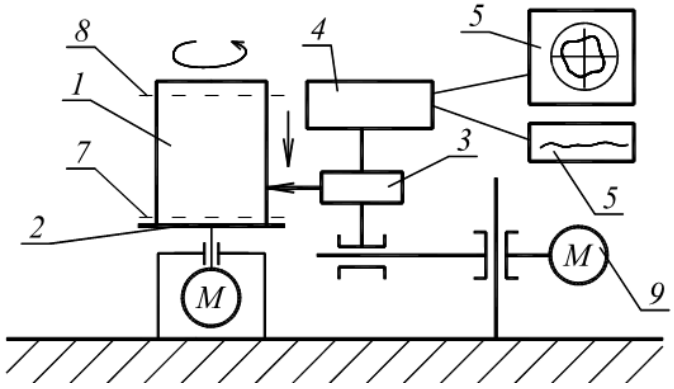


Рисунок 4.5 – Измерение отклонений от цилиндричности методом винтовой линии

Измерение отклонения расположения. Отклонения расположения (от перпендикулярности, параллельности, соосности и т.д.) измеряют от прилегающих прямых и поверхностей, воспроизводимых с помощью дополнительных средств: поверочных плит, линеек, валиков, угольников или специальных приспособлений.

При измерении отклонений от перпендикулярности автоколлиматором и измерительным мостиком (рис. 4.6) измеряемую деталь *1* устанавливают на поверочную плиту *2*. На поверочную плиту также устанавливают автоколлиматор *3*. Поочередно по поверяемым поверхностям измеряемой детали перемещают измерительные мостики *4* с отражающими зеркалами *5* и по автоколлиматору отсчитывают отклонения действительного угла φ от прямого угла, который задается пентагональной призмой 6.

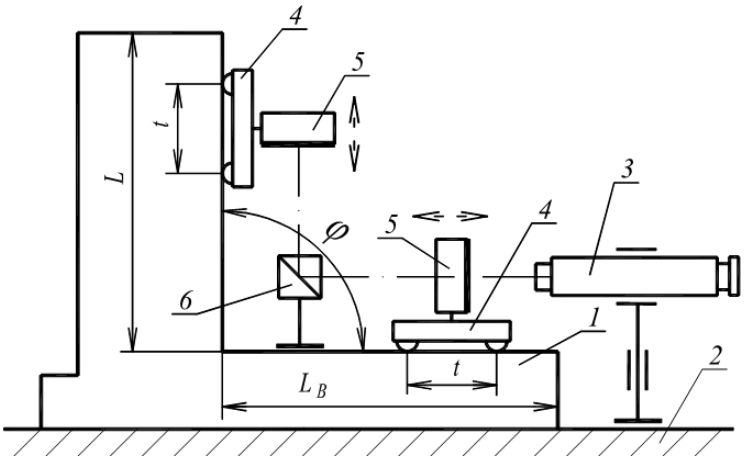
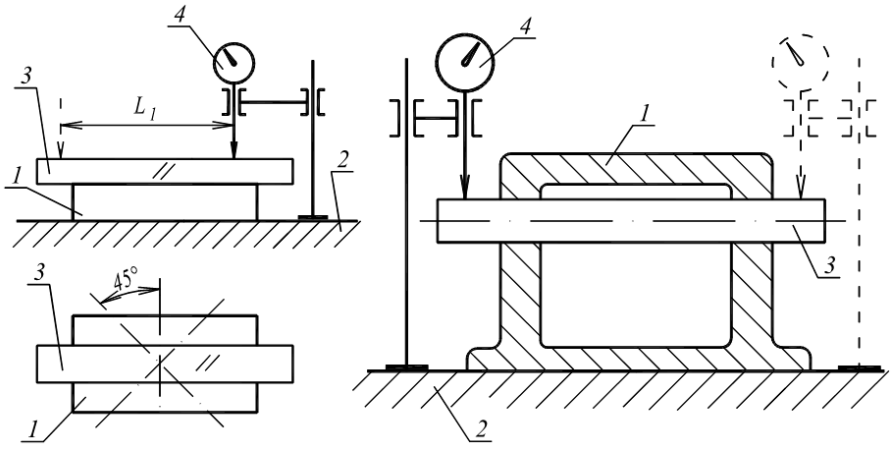


Рисунок 4.6 – Измерение отклонения
от перпендикулярности автоколлиматором

Измерение отклонения от параллельности по углу наклона плоскопараллельной планки (рис. 4.7,а) производится путем установки измеряемой детали *1* на плоскость сравнения *2*. На измеряемую поверхность накладывается плоскопараллельная планка *3*. Положение планки определяется по показаниям измерительной головки *4* в крайних точках определенного участка L_1. Измерение повторяют с изменением направления измерения (поворотом планки) на 45º. Из разностей показаний по краям участка, измеренных в разных положениях планки, выбирают наибольшую. Она является отклонением от параллельности на длине L_1, которое пересчитывается на длину нормируемого участка.



а) б)

Рисунок 4.7 – Схемы измерения отклонений от параллельности
поверхностей и осей

Измерение отклонения от параллельности оси и плоскости (рис. 4.7,б) осуществляется путем установки базовой плоскости измеряемой детали *1* на

плоскость сравнения *2*. На эту же плоскость устанавливается штатив с измерительной головкой *4*. Ось измеряемого отверстия материализуется цилиндрической оправкой *3*. Положение оправки измеряется в двух точках на заданном расстоянии. Разность показаний измерительной головки – это отклонение от параллельности на заданной длине.

При контроле зависимых допусков в большинстве случаев применяются комплексные калибры, которые одновременно проверяют точность изготовленных элементов и их расположение. Калибры делаются по проходному пределу, т.е. при годности детали калибр должен «проходить».

Отклонения формы в составе суммарных отклонений формы и расположения измеряется с помощью специальных измерительных средств, в которых либо воспроизводится номинальная форма кривой, либо определяются координаты положения точек от базы. Наиболее совершенным в этом случае является контроль с помощью координатно-измерительных машин с автоматическим режимом измерения, при котором вводимая в машину программа воспроизводит форму профиля и регистрирует отклонения. Обычно отклонение формы заданной поверхности определяется по отклонению заданного профиля в определенных сечениях.

5 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Контроль шероховатости поверхности может быть двух видов: ***приемочный контроль*** готовой продукции с целью определения годности изделий и выявления брака и ***периодический контроль*** обрабатываемой детали на важнейших стадиях обработки с целью поддержания таких условий обработки, которые обеспечивают получение деталей с заданной шероховатостью поверхности. Оценка шероховатости поверхности проводится по двум видам контроля: *качественному* и *количественному.*

Качественный контроль шероховатости поверхности осуществляют путем сравнения с образцами шероховатости. *Образец шероховатости поверхности* – это образец поверхности с известными параметрами шероховатости, полученный определенным способом обработки. ГОСТ 9378 – 93 устанавливает технические требования на образцы шероховатости поверхности, предназначенные для сравнения визуально и на ощупь с поверхностями изделия, полученными обработкой резанием, полированием, электроэрозионной, дробеструйной и пескоструйной обработкой, снятием позитивных отпечатков гальванопластикой или нанесением покрытий на пластмассовые отпечатки. Образцы могут изготовляться применением способа обработки, который должен воспроизвести образец.

Визуально можно удовлетворительно оценить шероховатость поверхности с Ra = 0,6...0,8 мкм и более. Для повышения точности используют лупы и микроскопы сравнения.

Количественный контроль параметров шероховатости осуществляют бесконтактными (приборы светового сечения, приборы теневого сечения, микроинтерферометры, растровые измерительные микроскопы, рефлектометры, лазерные, пневматические приборы и др.) и контактными (профилометры и профилографы) средствами измерения. Характеристики основных приборов приведены в табл. 5.1.

При выборе метода и типа прибора для измерения и контроля шероховатости необходимо учитывать: возможность контроля предписанного чертежом параметра; пределы измерения, погрешность измерения, производительность прибора; допускаемые отклонения контролируемого параметра, форму, размеры и материал детали и другие факторы.

Принципы действия приборов для измерения шероховатости более подробно описаны в методических указаниях [1].

Таблица 5.1 – Характеристики приборов

Тип прибора		Контролируемые параметры	Пределы измерения	Базовые длины, мм
Профилограф-профилометр мод. 201	Профилометр	*Ra*	8,0…0,02 мкм	0,08; 0,25; 0,8; 2,5
	Профилограф	*Ra* *Rz, Rmax* *S, Sm* *tp*	20…0,008 мкм 100…0,025 мкм 12,5…0,003 мм 90…10 %	Весь ряд
Профилометр мод. 253		*Ra*	2,5…0,04 мкм	0,25; 0,8; 2,5
Профилометр мод. 283		*Ra*	10…0,02мкм	0,25; 0,8
Профилограф-профилометр мод. 252 (с цифровым отсчетом)	Профилометр	*Ra* *Rmax* *Sm* *tp*	100…0,02 мкм 200…0,1 мкм 12,5…0,003 мм 100…0 %	0,08; 0,25; 0,8; 2,5
	Профилограф	*Rz, Rmax* *Ra* *S, Sm* *tp*	250…0,02 мкм 60…0,05 мкм 12,5…0,003 мм 100…0 %	Весь ряд
Приборы светового сечения	ПСС-2 (МИС-11)	*Rz, Rmax* *S, Sm*	40…0,8 мкм 2,5…0,002 мм	2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01
ОРИМ-1		*Rz, Rmax* *S, Sm*	40…0,4 мкм 2,5…0,002 мм	2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01
ПТС-1		*Rz, Rmax* *S, Sm*	320…40 мкм 6,3…0,02 мм	8; 2,5; 0,8; 0,25
Микроинтерферометр МИИ-4		*Rz, Rmax* *S, Sm*	0,8…0,1 мкм 0,25…0,02 мм	0,25; 0,08; 0,03; 0,01
Мобильные измерители шероховатости	ПМ-210	*Ra* *Rz*	0,025…12,5 мкм 0,02…160 мкм	2,5; 0,8; 0,25; 0,08
	ПМ-500	*Ra* *Rz*	0,05…8 мкм 0,02…160 мкм	2,5; 0,8; 0,25; 0,08

6 СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Калибры для шпоночных соединений. Для контроля параметров деталей шпоночных соединений применяют поэлементные и комплексные калибры.

При поэлементном контроле втулки со шпоночным пазом (рис. 6.1,а) применяют:

- для контроля диаметра отверстия – гладкие (комплект проходной и непроходной) калибры-пробки;

- для контроля ширины b шпоночного паза – пазовые калибры (рис. 6.1,б);

- для контроля глубины $H = d + t_2$ – глубиномеры (рис. 6.1,в).

При комплексном контроле втулки со шпоночным пазом предусмотрены комплексные проходные шпоночные калибры (рис. 6.1,г), которые характеризуются тремя размерами: номинальная ширина b_k контрольной шпонки; размер H_k и диаметр d_k калибра-пробки. Втулка со шпоночным пазом годна, если калибр-пробка проходит в контролируемое отверстие. При этом диаметр отверстия втулки, ширина и глубина паза не выходят за предельные размеры.

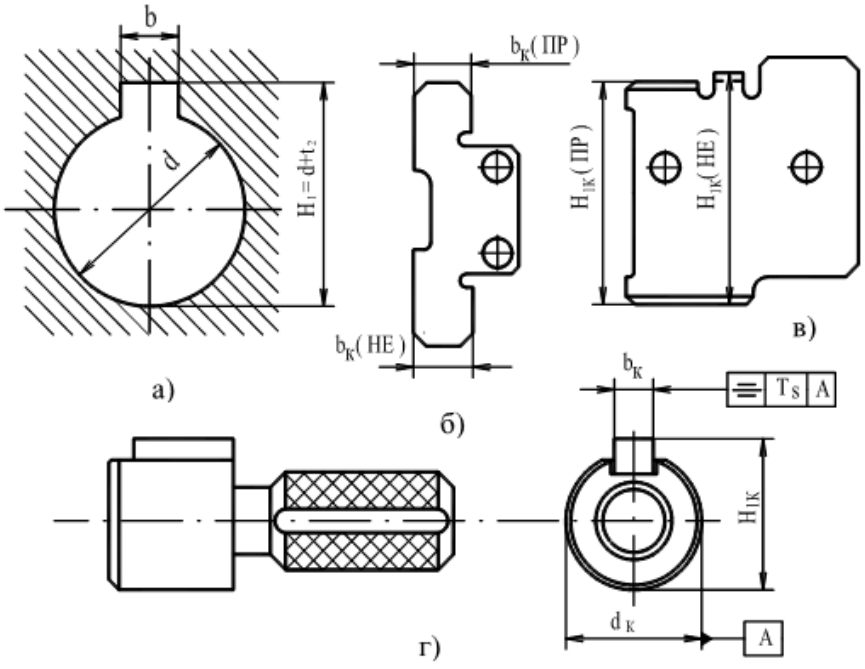


Рисунок 6.1 – Калибры для контроля втулки со шпоночным пазом

При поэлементном контроле вала со шпоночным пазом (рис. 6.2,а) применяют:

- для контроля диаметра вала – гладкие (комплект проходной и непроходной) калибры-скобы;

- для контроля ширины b шпоночного паза – пазовые калибры (рис. 6.2,б);

- для контроля глубины $H_1 = d - t_1$ – глубиномеры (рис. 6.2,в).

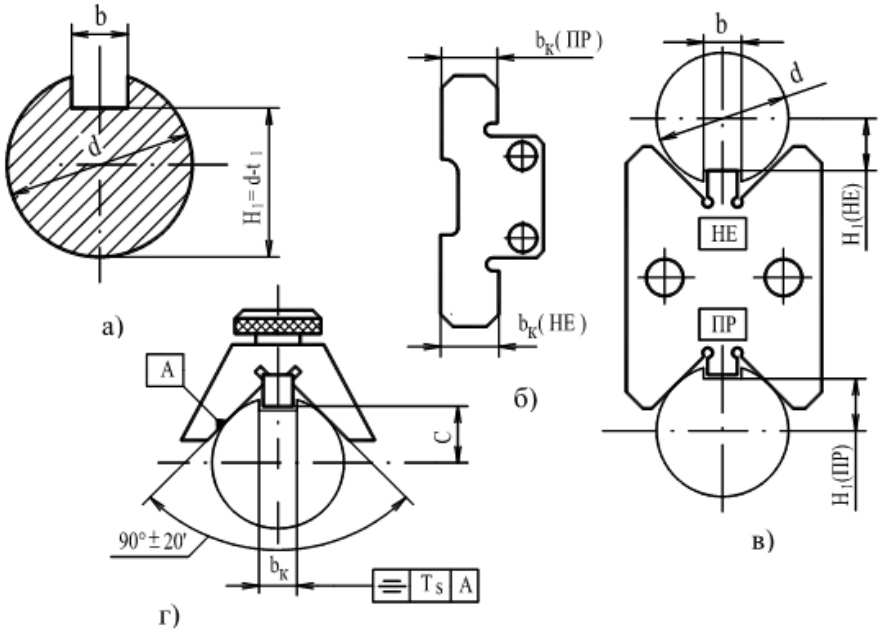


Рисунок 6.2 – Калибры для контроля валов
со шпоночными пазами

При комплексном контроле вала со шпоночным пазом предусмотрены комплексные проходные шпоночные калибры (рис. 6.2,г), которые характеризуются двумя размерами: номинальная ширина b_k контрольной шпонки и размер C – глубина вхождения шпоночного калибра-призмы в шпоночный паз вала. Шпоночный вал годен, если калибр-призма проходит в вал, прижимаясь к поверхности вала. При этом диаметр вала, ширина и глубина паза не должны выходить за предельные размеры.

Схема расположения интервалов допусков калибров-пробок и калибров-призм изображена на рис. 6.3.

Номинальная ширина шпонки b_k шпоночного калибра-призмы и шпоночного калибра-пробки определяется по следующей зависимости

$$b_k = b_{\min} - Z_b + \frac{H_b}{2},$$

где $b_{\min}$ – наименьшая ширина b шпоночного паза втулки (вала), Z_b – расстояние от середины интервала допуска на изготовление размера b_k шпоночного калибра до наименьшего предельного размера паза втулки (вала), H_b – допуск на изготовление шпоночного калибра-пробки и шпоночного калибра-призмы по ширине шпонки b_k.

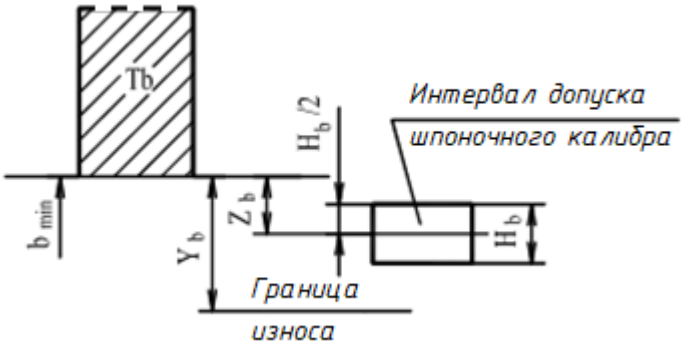


Рисунок 6.3 – Схема расположения интервала допуска шпоночного калибра

Значения допусков для расчетов исполнительных размеров калибров для контроля шпоночных пазов приведены в ГОСТ 24109 – 80.

Калибры для контроля шлицевых соединений. Для контроля шлицевой втулки и шлицевого вала с прямобочным профилем применяют поэлементные и комплексные шлицевые калибры.

При поэлементном контроле шлицевой втулки применяют:

- для контроля внутреннего диаметра втулки – гладкие (комплект проходной и непроходной) калибры-пробки;
- для контроля наружного диаметра втулки – специальные листовые двусторонние калибры-пробки и неполные калибры-пробки;
- для контроля ширины шлицевого паза – пазовые калибры.

При поэлементном контроле шлицевого вала применяют:

- для контроля наружного диаметра вала – гладкие (комплект проходной и непроходной) калибры-скобы;
- для контроля внутреннего диаметра вала – гладкие калибры - скобы;
- для контроля ширины зубьев – калибры – скобы.

При комплексном контроле деталей шлицевых соединений проверяют суммарные отклонения толщины зубьев валов и ширины впадин втулок, отклонения наружных и внутренних диаметров шлицевого вала и шлицевой втулки, а также погрешности формы и взаимного расположения сопрягаемых поверхностей элементов шлицевого соединения.

Для комплексного контроля шлицевых валов предусмотрены комплексные шлицевые калибры-кольца. Шлицевой прямобочный проходной комплексный калибр-кольцо (рис. 6.4,а) имеет гладкую направляющую и

шлицевую части. Шлицевой вал годен, если кольцо проходит по шлицевому валу.

Для комплексного контроля шлицевых втулок предусмотрены комплексные шлицевые калибры-пробки (рис. 6.4,б). Шлицевая втулка годна, если калибр-пробка вводится в отверстие шлицевой втулки.

Допуски калибров для контроля элементов шлицевых прямобочных соединений устанавливает ГОСТ 7951 – 80.

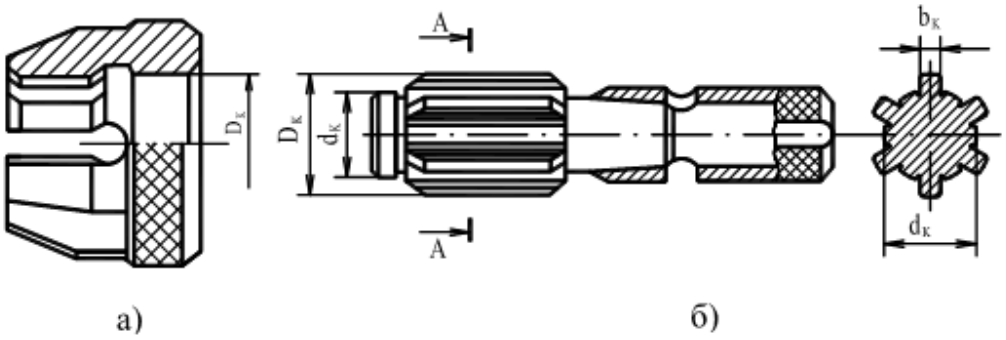


Рисунок 6.4 – Комплексные калибры для контроля элементов прямобочных шлицевых соединений

Контроль деталей эвольвентных шлицевых соединений аналогичен контролю деталей прямобочных шлицевых соединений. Для контроля деталей эвольвентных шлицевых соединений также предусмотрены поэлементные и комплексные шлицевые калибры. Допуски и виды калибров для контроля шлицевых эвольвентных соединений регламентированы ГОСТ 24969 – 81.

7 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

При контроле зубчатых колес применяют большое число специализированных приборов контроля параметров, характеризующих эксплуатационные показатели зубчатого зацепления.

Контроль зубчатых колес служит не только для оценки качества готовой продукции –без него невозможно произвести правильную наладку и диагностику состояния зубообрабатывающего оборудования или найти нарушения в технологическом процессе их изготовления.

На предприятиях машиностроения и приборостроения сегодня применяется широкая номенклатура средств измерения параметров зубчатых колес. Это в основном ручные неавтоматизированные средства измерения и приборы, выпущенные советскими инструментальными заводами в60-80-хгодах прошлого века. Эти приборы морально устарели, однако некоторые из них продолжают выпускаться и использоваться на предприятиях. Рассмотрим наиболее распространенные традиционные средства и методы контроля основных параметров для каждой нормы точности и сопряжения по боковому зазору.

Контроль зубчатых колес является весьма трудоемким, т.к. необходимо проверить эксплуатационные показатели звена механизма со сложной геометрической формой. В виду многообразия контролируемых параметров различают комплексный и поэлементный методы контроля. По стадиям выполнения контроль зубчатых колес делят на технологический и приемочный.

При приемочном (окончательном) контроле зубчатых колес устанавливают их соответствие нормам на параметры, зависящим от назначения передачи. Приемочный контроль должен быть комплексным и выполняться в условиях, наиболее приближенных к эксплуатационным, при совмещении измерительной базы с монтажной базой изделия.

Технологический контроль служит для наблюдения за ходом технологической операции по результатам контроля зубчатых колес и выполняется для наладки технологического оборудования; в некоторых случаях он совмещается с активным контролем, управляющим ходом технологического процесса. Для выявления влияния каждого технологического фактора при проведении технологического контроля следует использовать поэлементные методы контроля и совмещать измерительную базу с технологической.

Выбор комплекса необходимых для контроля параметров зависит от типа производства, степени точности колеса, его назначения, размеров и других факторов. К комплексным показателям относят: наибольшие кинематические погрешности колеса и передачи, циклические погрешности колеса и передачи, циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче,

размеры суммарного пятна контакта и гарантированный боковой зазор.

При выборе комплекса контролируемых параметров руководствуются принципом инверсии, в соответствии с которым следует отдавать предпочтение методам контроля, в наибольшей степени приближающимся к условиям эксплуатации зубчатых передач. Поэтому приборы для контроля измерительного межцентрового расстояния в однопрофильном зацеплении предпочтительнее приборов для контроля в двухпрофильном зацеплении. Контроль в зацеплении с измерительным колесом предпочтительнее контроля отдельных параметров (например, шага) и т.д. В соответствии с принципом инверсии целесообразнеё выбирать, например, в качестве элементов базирования зубчатых колес их рабочие оси вращения, а не наружную окружность, получать непрерывную (погрешность обката), а не дискретную (погрешность шага) информацию в отдельных точках и т.д.

В табл. 7.1 приведены возможные комплексы контроля для каждой из норм точности и норм бокового зазора, образованных на основе требований стандарта (ГОСТ 1643 – 81).

Таблица 7.1 – Сводная таблица возможных комплексов контроля зубчатых колес

<table>
<tr><td rowspan="4">Нормы точности</td><td colspan="7">Номера комплексов контроля</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr>
<tr><td colspan="7">для степеней точности</td></tr>
<tr><td>3 … 8</td><td>3 … 8</td><td>3 … 8</td><td>3 … 8</td><td>7 … 12</td><td>5 … 12</td><td>5 … 12</td></tr>
<tr><td>Кинематической</td><td colspan="7">Показатели, нормируемые в комплексе</td></tr>
<tr><td>Кинематической</td><td>F_i'</td><td>F_P и F_{Pk}</td><td>F_r и F_{vW}</td><td>F_r и F_c</td><td>F_r</td><td>F_i'' и F_{vW}</td><td>F_i'' и F_c</td></tr>
<tr><td>Плавности</td><td>f_i'</td><td colspan="3">f_{Pb} и f_f или f_{Pb} и f_{Pt} (или f_{vPt})</td><td>f_{Pt} или f_{vPt}</td><td>f_{Pt}</td><td></td></tr>
<tr><td>Контакта</td><td colspan="7">Пятно контакта или F_β или F_k</td></tr>
<tr><td>Боковых зазоров</td><td colspan="5">E_H и T_H или E_{W_m} и T_{W_m} или E_W и T_W или E_c и T_c</td><td colspan="2">$E_{a''i}$ и $E_{a''s}$</td></tr>
</table>

Каждый установленный производителем комплекс показателей, используемый при приемке колес и передач, является равноправным с другими. Контроль по параметрам, указанным в контрольном комплексе, не является обязательным, если изготовитель передач осуществляет такую систему контроля точности технологического процесса, которая гарантирует изготовление колес с соблюдением требований стандарта. Этим самым

стандарт ориентирует на прогрессивный метод контроля, на активное участие в обеспечении необходимого качества поддержанием точности технологического процесса на определенном уровне вместо контроля уже готовой продукции.

Приборы для контроля цилиндрических (*C*), конических (*K*), червячных (*G*) колес и червяков (*Z*) и прочих (*R*) зубчатых колес разделяют следующим образом:

- по степени механизации и автоматизации – на ручные, механизированные, автоматизированные (от ручных с цифровым отсчетом до измерительных систем с компьютерным управлением), автоматические;

- по конструкции – на станковые (*S*) и накладные (*M*);

- по размерам (модулям) контролируемых колес – на типоразмеры 0,1; 0,2; 0,3 (для $m \le 1$); 1; 2; 3; 4 (для $m \ge 1$);

- по назначению – на группы в зависимости от контролируемых показателей точности.

По назначению предусматриваются следующие группы приборов:

1) приборы для измерения кинематической погрешности;
2) приборы для измерения шага (шагомеры);
3) приборы для измерения радиального биения зубчатого венца (биениемеры);
4) приборы для измерения смещения исходного контура;
5) приборы для измерения межосевого расстояния и межосевого угла (межосемеры);
6) приборы для измерения шага зацепления;
7) приборы для измерения профиля зуба;
8) приборы для измерения направления зуба;
9) приборы для измерения контактной линии (контактомеры);
10) приборы для измерения длины общей нормали (нормалемеры);
11) приборы для измерения толщины зуба (зубомеры хордовые);
12) приборы для измерения пятна контакта;
13) приборы для измерения осевого шага;
14) приборы для измерения погрешности обката (кинематомеры).

- по точности измерений – на классы А, АВ и В.

Условное обозначение приборов производится последовательным написанием обозначений: вид зубчатого колеса – тип прибора, размер измеряемых зубчатых колес – номер группы прибора – класс точности прибора. Например: ***C – S2 – 1 – A***– условное обозначение прибора станкового типа (*S*) класса точности *A* для измерения кинематической погрешности (1) цилиндрических зубчатых колес (*C*) с модулем $m \ge 1$ (2).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Лабораторный практикум (часть 2): метод. указания к выполнению лабораторных работ / сост. Н. А. Волошина, О. В. Филипович, Н. А. Балакина, Г. В. Невар. – Севастополь : СевГУ, 2019. – 134 с.
2. Карпенко В. А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учебное пособие / В. А. Карпенко, Н. А. Волошина, С. П. Волков – Севастополь : СевНТУ, 2007 – 372 с.
3. Технические измерения : учебное пособие / А. Ф. Богданов, А. А. Воробьев, И. А. Иванов, В. Г. Кондратенко. — Санкт-Петербург : ПГУПС, 2017. — 145 с. — ISBN 978-5-7641-0937-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/101579 (дата обращения: 11.07.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Назарова, Т. К. Основы взаимозаменяемости и технических измерений : учебное пособие / Т. К. Назарова. — Челябинск : ИАИ ЮУрГАУ, 2006. — 74 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/9689 (дата обращения: 11.07.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Глуханов, А. А. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: практикум : учебное пособие / А. А. Глуханов. — Архангельск : САФУ, 2021. — 206 с. — ISBN 978-5-261-01516-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/226862 (дата обращения: 11.07.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Кревченко, Ю. Р. Проектирование измерительных приборов и систем : учебное пособие / Ю. Р. Кревченко, Д. В. Шайхутдинов. — Новочеркасск : ЮРГПУ, 2015. — 283 с. — ISBN 978-5-9997-0526-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/180931 (дата обращения: 11.07.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Шалыгин, М. Г. Автоматизация измерений, контроля и испытаний : учебное пособие / М. Г. Шалыгин, Я. А. Вавилин. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 172 с. — ISBN 978-5-8114-3531-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/206333 (дата обращения: 11.07.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
8. Верещагина, А. С. Нормирование точности и технические измерения : учебное пособие / А. С. Верещагина, С. И. Василевская. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. - 359 с. — URL: https://znanium.com/catalog/product/1870025 (дата обращения:

11.07.2022). – Режим доступа: по подписке. - ISBN 978-5-7782-3855-8. - Текст : электронный.
9. Федеральный Закон от 26.06.2008 N 102-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об обеспечении единства измерений».
10. РМГ 29 – 2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. Введ. 01.01.2015.– М.: Стандартинформ, 2014. – 83 с.
11. ГОСТ 27284 – 87 Калибры. Термины и определения. Введ. 01.01.1988. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 4 с.
12. ГОСТ 9038 – 90 Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. Введ. 01.07.91. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 15 с.
13. ГОСТ 12069 – 90 Меры длины штриховые брусковые. Технические условия. Введ. 01.01.92. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
14. ГОСТ 427 – 75 Линейки измерительные металлические. Технические условия. Введ. 01.01.1977. – М.: Стандартинформ, 2007. – 5с.
15. ГОСТ 7502 – 98 Рулетки измерительные металлические. Технические условия. Введ. 01.01.2000. – М.: Стандартинформ, 2006. – 10 с.
16. ГОСТ 166 – 89 Штангенциркули. Технические условия. Введ. 01.01.1991.– М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 10 с.
17. ГОСТ 162 – 90 Штангенглубиномеры. Технические условия. Введ. 01.01.1991.– М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 7 с.
18. ГОСТ 164 – 90 Штангенрейсмасы. Технические условия. Введ. 01.01.1991.– М.: Стандартинформ, 2009. – 8 с.
19. ГОСТ 5378 – 88 Угломеры с ониусом. Технические условия. Введ. 01.01.90. – М.: Стандартинформ, 2010. – 11 с.
20. ГОСТ 6507 – 90 Микрометры. Технические условия. Введ. 01.01.1991.– М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 10 с.
21. ГОСТ 4380 – 93 Микрометры со вставками. Технические условия. Введ. 01.01.95. – М.: Стандартинформ, 2005. – 13 с.
22. ГОСТ 7470 – 92 Глубиномеры микрометрические. Технические условия. Введ. 01.01.1993. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 8 с.
23. ГОСТ 10 – 88 Нутромеры микрометрические. Технические условия. Введ. 01.01.1990.– М.: Стандартинформ, 2006. – 6 с.
24. ГОСТ 4381 – 87 Микрометры рычажные. Общие технические требования. Введ. 01.01.88. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 9 с.
25. ГОСТ 10197 – 70 Стойки и штативы для измерительных головок. Технические условия. Введ. 01.01.72. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 17 с.
26. ГОСТ 577 – 68 Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. Введ. 05.02.1968. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 8 с.
27. ГОСТ 15593 – 70 Индикаторы часового типа. Головки и преобразователи измерительные. Присоединительные размеры. Введ. 01.01.71. –

М.: Изд-во стандартов, 1979. – 4 с.
28. Белкин И. М. Средства линейно-угловых измерений : справочник / И. М. Белкин. – М. : Машиностроение, 1987. – 368 с.
29. ГОСТ 18833 – 73 Головки измерительные рычажно-зубчатые. Технические условия. Введ. 01.07.74. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 8 с.
30. ГОСТ 5584 – 75 Индикаторы рычажно-зубчатые с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 7 с.
31. ГОСТ 9696 – 82 Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Технические условия. Введ. 01.01.84. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.
32. ГОСТ 28798 – 90 Головки измерительные пружинные. Общие технические условия. Введ. 01.01.92. – М.: Стандартинформ, 2005. – 11с.
33. ГОСТ 8.051 – 81 Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 10 с.
34. ГОСТ 24853 – 81 Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски. Введ. 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.
35. ГОСТ 21401 – 75 Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Исполнительные размеры. Введ. 01.01.1977. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 65 с.
36. ГОСТ 2015 – 84 Калибры гладкие нерегулируемые. Технические требования. Введ. 01.01.85. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 4 с.
37. ГОСТ 2216 – 84 Калибры-скобы гладкие регулируемые. Технические условия Введ. 01.01.1985. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.
38. ГОСТ 16775 – 93 Калибры-скобы гладкие, оснащенные твердым сплавом, для диаметров от 3 до 180. Размеры. Введ. 01.01.1995. – М.: Стандартинформ, 2008. – 6 с.
39. ГОСТ 14807 – 69 Калибры-пробки гладкие двусторонние со вставками диаметром от 1 до 6 мм. Конструкция и размеры. Введ. 01.01.1971. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 6 с.
40. ГОСТ 18360 – 93 Калибры-скобы листовые для диаметров от 3 до 260 мм. Размеры. Введ. 01.01.1995. – М.: Стандартинформ, 2005. – 9 с.
41. ГОСТ 14822 – 69 Калибры-пробки гладкие проходные неполные диаметром свыше 100 до 300 мм. Конструкция и размеры. Введ. 01.01.1971. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 9с.
42. ГОСТ 14823 – 69 Калибры-пробки гладкие непроходные неполные диаметром свыше 75 до 300 мм. Конструкция и размеры. Введ. 01.01.1971. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 9с.
43. ГОСТ 14815 – 69 Калибры-пробки гладкие проходные с насадками диаметром свыше 50 до 100 мм. Конструкция и размеры. Введ. 01.01.1971. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 6с.
44. ГОСТ 14812 – 69 Калибры-пробки гладкие проходные со вставками

диаметром свыше 50 до 75 мм. Конструкция и размеры. Введ. 01.01.1971. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 6с.
45. ГОСТ 14810 – 69 Калибры-пробки гладкие двусторонние со вставками диаметром свыше 3 до 50 мм. Конструкция и размеры. Введ. 01.01.1971. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 9с.
46. ГОСТ 2534-77 Калибры предельные для глубин и высот уступов. Введ. 01.07.1978. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 44с.
47. ГОСТ 2848 – 75 Конусы инструментов. Допуски. Методы и средства контроля. Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 13 с.
48. ГОСТ 2875 – 88 Меры плоского угла призматические. Общие технические условия. Введ. 01.01.89. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 9 с.
49. ГОСТ 3749 – 77 Угольники поверочные 90. Технические условия. Введ. 01.01.1978. – М.: Стандартинформ, 2008. – 9 с.
50. ГОСТ 24932 – 81 Калибры для конических соединений. Допуски. Введ. 01.01.1982. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.
51. ГОСТ 5378 – 88 Угломеры с нониусом. Технические условия. Введ. 01.01.90. – М.: Стандартинформ, 2010. – 7 с.
52. ГОСТ 9392 – 89 Уровни рамные и брусковые. Технические условия. Введ. 01.01.91. – М.: Стандартинформ, 2008. – 6с.
53. ГОСТ 11196 – 74 Уровни с микрометрической подачей ампулы. Технические условия. Введ. 01.01.76. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 7с.
54. ГОСТ 4046 – 80 Линейки синусные. Технические условия. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 9 с.
55. ГОСТ 9378 – 93 Образцы шероховатости поверхности. Введ. 01.01.1997. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 9 с.
56. ГОСТ 24109 – 80 Калибры для шпоночных соединений. Допуски. Введ. 01.01.1981. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 22 с.
57. ГОСТ 7951 – 80 Калибры для контроля шлицевых прямобочных соединений. Допуски. Введ. 01.01.1981. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 20с.
58. ГОСТ 24969 – 81 Калибры для контроля шлицевых эвольвентных соединений с углом профиля 30°. Допуски. Введ. 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 22 с.
59. ГОСТ 1643 – 81 Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. Введ. 01.07.81. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 70 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Таблица А.1 – Выбор станковых средств измерения наружных размеров

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по А.4											
до 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25	8/40	12/60	20/100	30/140
	17б, 18а, 19а, 22б, 24б, 26б, 27а, 28а, 30б, 36з	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25б, 26а, 30б, 36в	10б, 15б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в	9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10б, 15а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9а, 10а, 11в, 12а, 15а, 20а, 32а, в, 36а	9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32а, б, в, 36а	7д, и, 9а, 11а, 12а, 13а, 14а, 31, 35в	7г, з, 11а, 13а, 32б, 35б	7б, е, 13а, 35б	7а, е, 35а	7а, 35а
св. 3 до 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30	10/48	16/75	30/120	40/180
	10б, 16б, 17а, 18а 19а, 22б, 23а, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36г, к	10б, 15б, 16б, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в	9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10б, 15а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 30б, 33а, 34а, 36б	9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32а, в, 36а	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 13б, 14б, 20а, 31, 32а, в, 36а	7г, з, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 32б, 35б	7а, е, 35а	7а, 35а	-
св. 6 до 10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36	12/58	18/90	30/150	50/220
	10б, 16б, 17а, 18а, 19а, 22б, 24а, 25б, 26а, 27а 30б, 36г, к	10б, 15б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в	9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 30а, 33а, 34а, 36б	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 13б, 14б, 20а, 31, 32а, в, 36а	7д, 9а, 11а, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в, 36а	7г, з, 11а, 13а, 14а, 32б	7б, е, 13а, 35б	7а, 35а	7а, 35а	-

Продолжение табл.А.1

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по А.4											
	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43	14/70	30/110	40/180	60/270
св. 10 до 18	10б, 16б, 17а, 18а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36ж	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в, е	9б, 10б, 15а, 16а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 34а, 36б	9б, 10а, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32а, 34а, 36а	7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в, 36а	7д, и, 9а, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 32б, 35б	7б, е, 13а, 35б	7а, 35а	-	-
св. 18 до 30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52	18/84	30/130	50/210	70/330
	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36г, ж	10б, 16а, 21б, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 36в, е	9б, 10а, 15а, 16а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32в, 34а, 36а	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 20а, 32а, в 34а, 36а	7д, 9а, 11а, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в	7г, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, е, 11а, 13а, 32б, 35б	7а, 35а	-	-	-
св. 30 до 50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62	20/100	40/160	50/250	80/390
	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36ж	10б, 16а, 21б, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 36в, е	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а, 36б, д	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32в, 34а, 36а	7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 31, 32а, в, 36а	7д, и, 9а, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б	7а, 35а	7а, 35а	-	-	-

Продолжение табл.А.1

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по А.4											
	1,2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74	30/120	40/190	60/300	100/460
св. 50 до 80	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а 36ж, и	9б, 10б, 15б, 16а, 21б, 22а, 25а, 30а, 33а, 34б, 36б	9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а, 36б	9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32в, 34а, 36а	7к, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 32в, 34а, 36а	7г, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б	7а, 35а	7а, 35а	-	-	-
	1,6/4	2/6	3/10	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87	30/140	50/220	70/350	120/540
св. 80 до 120	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а 34б, 36е	10б, 15б, 16а, 20б, 21а, 22а, 23а, 24а, 25а, 30а, 33а, 34б, 36б	9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а*, б, 36а	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32в*, 34а*, 36а	7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 32в*, 34а*, 36а	7г, з, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б*, в*, 35б*	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б*, 35б*	7а, 11а, 13а, 35а*	7а, 35а*	-	-	-
	2/5	2,8/8	4/12	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100	40/160	50/250	80/400	140/630
св. 120 до 180	10б*, 15б*, 16а*, 20б, 21а, 22а, 23а, 24а, 25а*, 30а, 34б, 36б	9б*, 10а, 15а*, 20б, 21а, 34б, 36б, д	9б*, 10а, 11в*, 12а, 15а*, 20б, 21а, 33а, 36а	7д, 9а, 11в*, 12а, 13б*, 14б*, 20а, 33а, 36а	7д, и, 9а, 11б, 13б*, 14б*, 20а	7в, ж, 11а, 13а*, 14а*, 31*, 32а	7в, е, 11а, 13а*, 14а*, 31*, 32а	7а	7а	-	-	-

Продолжение табл.А.1

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по А.4											
св. 180 до 250	2,8/7	4/10	5/14	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115	40/185	60/290	100/460	160/720
	10а, 22а, 23а, 24а, 30а, 34б, 36в, е	10а, 12а, 20б, 21а, 33а, 34б, 36б	10а, 12а, 20б, 21а, 33а, 36а	7д, 9а, 12а, 20а, 33а, 36а	7д, и, 9а, 11б, 12а, 20а	7г, з, 9а, 11а, 32а	7в, е, 11а, 32а	7а	7а	-	-	-
св. 250 до 315	3/8	4/12	5/16	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130	50/210	70/320	120/520	180/810
	21б, 22а, 23а, 30а, 34б	20б, 21а, 33а, 34б, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	7к, 20а, 21а, 33а, 36а	7г, 20а	7г, з, 20а	7в, е, 32а	7в, е, 32а	7а	-	-	-
св. 315 до 400	3/9	5/13	6/18	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140	50/230	80/360	120/570	180/890
	21а, 22а, 23а, 30а, 34б	20б, 21а, 33а, 34б, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	7д, 20а, 21а, 33а, 36а	7д, и, 20а, 33а	7г, з, 20а	7в, е, 32а	7а, 32а	7а	-	-	-
св. 400 до 500	4/10	5/15	6/20	9/27	12/40	18/63	26/97	40/155	50/250	80/400	140/630	200/970
	21б, 22а, 23а, 30а, 34б	20б, 21б, 34б, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	7г, 20а, 33а	7г, з, 20а	7в, е, 32а	7в, е, 32а	7а, 32а	-	-	-

* Измерительное средство не полностью обеспечивает диапазон номинальных размеров.

Таблица А.2 – Выбор накладных средств измерения наружных размеров

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по А.4											
до 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25	8/40	12/60	20/100	30/140
	-	6г	6г	6г	6г	6в	6в	4а, 5в, 6а	4а, 5в, 6а	4а, 5а	4а, 5а	4а
св. 3 до 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30	10/48	16/75	30/120	40/180
	6г	6г	6г	6г	6в	6в	6а	4а, 5в, 6а	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а
св. 6 до 10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36	12/58	18/90	30/150	50/220
	6г	6г	6г	6в	6в	6а	4а, 5г, 6а	4а, 5в	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а
св. 10 до 18	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43	14/70	30/110	40/180	60/270
	6г	6г	6г	6в	6в	4а, 5г, 6а	4а, 5в, 6а	4а, 5б	4а, 5а	4а	4а	4а
св. 18 до 30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52	18/84	30/130	50/120	70/330
	6г	6г	6в*,г	6в	6а*,в	4а*,в, 5г, 6а*,б	4а*,б, 5в, 6а	4а, 5б, 6а	4а, 5а	4а	4а	4а
св. 30 до 50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62	20/100	40/160	50/250	80/390
	6г	6г	6г	6в	4б, 5г, 6б	4б, 5в, 6а	4а, 5б, 6а	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а	4а
св. 50 до 80	1,2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74	30/120	40/190	60/300	100/460
	6г	6г	6г	6в	4б, 5г, 6б	4б, 5в, 6а*,б	4а*,б, 5б, 6а	4а, 5а, 6а	4а, 5а	4а	4а	3
св. 80 до 120	1,6/4	2/6	3/10	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87	30/140	50/220	70/350	120/540
	6г	6г	6г	4б*, 6б*,в	4б*, 5г, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б	4а, 5а, 6а	4а, 5а	4а	4а	3
св. 120 до 180	2/5	2,8/8	4/12	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100	40/160	50/250	80/400	140/630
	6г	6г	6в*, г	5г, 6в	5в, 6б	4б, 5б, 6б	4а*,б, 5б, 6а*,б	4а, 5а, 6а	4а, 5а	4а	4а	3, 4а
св. 180 до 250	2,8/7	4/10	5/14	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115	40/185	60/290	100/460	160/720
	6г	6в*, г	6в	5г*, 6б	5в*, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б, 6б	4а, 5а*,б, 6а	4а, 5а, 6а	4а, 5а	3, 4а	3, 4а
св. 250 до 315	3/8	4/12	5/16	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130	50/210	70/320	120/520	180/810
	6г	6г	6в*, г	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4в, 5б*,в, 6б	4а*,б, 5б, 6а*,б	4а, 5а, 6а	4а, 5а	4а	4а
св. 315 до 400	3/9	5/13	6/18	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140	50/230	80/360	120/570	180/890
	6г	6г	6в	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б, 6б	4а, 5б, 6а	4а, 5а, 6а	4а, 5а, 6а	4а	4а
св. 400 до 500	4/10	5/15	6/20	9/27	12/40	18/63	26/97	40/155	50/250	80/400	140/630	200/970
	6г	6г	6г	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б, 6б	4б, 5б, 6б	4а, 5б, 6а	4а, 5а, 6а	4а	4а

*Измерительное средство не полностью обеспечивает диапазон номинальных размеров.

Таблица А.3 – Выбор средств измерения внутренних размеров

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по А.5											
до 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25	8/40	12/60	20/100	30/140
	14	14	14	14	14	14	14	12	11, 12	11	11	11
св. 3 до 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30	10/48	15/75	30/120	40/180
	13*, 14*	10,13* 14*	10,13* 14*	7в, 9д	7в, 9г	7б, 9б	7а, 9а	9а, 11, 12	9а, 11, 12	11	11	11
св. 6 до 10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36	12/58	18/90	30/150	50/220
	10, 13	10, 13	10, 13	7в, 9д	7в, 9г	6б, 7а, 9а	5в, 6а, 7а, 9а, 12	5в, 6а, 7а, 9а, 11, 12	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11
св. 10 до 18	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43	14/70	30/110	40/180	60/270
	10, 13	8б*, 10 13	7в, 8а*, 9д	7б, 8а*, 9в	6б, 7б, 8а*, 9б	5в, 6а, 7а, 9а, 12	5в, 6а, 7а, 9а, 11, 12	5б, 9а, 11, 12	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11
св. 18 до 30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52	18/84	30/130	50/210	70/330
	10, 13	8б, 10 13	8а, 9д	7в, 8а 9в	6б, 7б 9б	5в, 6а 7а, 9а, 12	5в, 6а 12	5б, 11	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11
св. 30 до 50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62	20/100	40/160	50/250	80/390
	10, 13	8б, 10 13	8а, 9д	6б, 7б 9б	5в, 6б 7а, 9а	5в, 6а 7а, 9а, 12	5б, 9а 11, 12	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11
св. 50 до 80	1, 2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74	30/120	40/190	60/300	100/460
	8б, 10, 13	8б, 10	8а, 9д	8а, 9б	6б, 8а, 9а	6а, 9а 12	4б, 5в, 6а, 11, 12	4а, 5б, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11
св. 80 до 120	1,6/4	2/6	3/10	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87	30/140	50/220	70/350	120/540
	8б, 10, 13	8б, 10	8а, 9в	6б,8а, 9а	6б, 9а	4б, 6а, 9а, 11, 12	4б, 6а, 11, 12	4а, 5б, 11	4а, 5а 11	4а, 5а 11	4а, 5а 11	4а, 5а 11
св. 120 до 180	2/5	2,8/8	4/10	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100	40/160	50/250	80/400	140/630
	13	8б	8б	8а	6а, 8а, 12	6а, 11*, 12	4б, 5б, 11*, 12	4а, 5а, 11*, 12	4а, 5а 11*, 12	4а, 5а 11*, 12	4а, 5а 11*, 12	4а, 5а 11*, 12
св. 180 до 250	2,8/7	4/10	5/14	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115	40/185	60/290	100/460	160/720
	8б	8б	8а	6а, 8а, 12*	6а, 8а, 12*	6а, 12*	4б, 5б, 12*	4а, 5а 12*	4а, 5а 12*	4а, 5а 12*	4а, 5а 12*	4а, 5а 12*
св. 250 до 315	3/8	4/12	5/16	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130	50/210	70/320	120/520	180/810
	-	-	-	-	6б, 8а	6а, 8а	4б, 5б	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а
св. 315 до 400	3/9	5/13	6/18	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140	50/230	80/360	120/570	180/890
	-	-	-	8а	6б, 8а	6а, 8а	4б, 5б	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а
св. 400 до 500	4/10	5/15	6/20	9/27	12/40	18/63	26/97	40/155	50/250	80/400	140/630	200/970
	-	-	-	6б,8а	6а, 8а	6а, 8а	4б, 5б	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а

*Измерительное средство не полностью обеспечивает диапазон номинальных размеров.

Таблица А.4 – Предельные погрешности измерения наружных линейных размеров, биений и глубин универсальными измерительными средствами

Номер для таблиц А.1, А.2	Средства измерений Наименование и случаи применения	Варианты использования	Предельные погрешности измерения, мкм для диапазона размеров, мм									
1	Линейка измерительная металлическая с ценой деления 1мм	-	500									
			500									
2	Штангенциркули		до 50			50-250			250-500			
	с отсчетом по нониусу 0,1 мм	-	150			200			250			
3	с отсчетом по нониусу 0,05 мм	-	100			100			-			
4	Микрометры гладкие с величиной отсчета 0,01 мм при настройке на нуль по установочной мере		до 25	25-75	75-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-400	400-500	
		а	5	10	15	15	20	25	30	40	50	
		б	5	5	5	10	10	10	10	10	10	
5	Скобы индикаторные с ценой деления 0,01 мм		до 10	10-30	30-50	50-80	80-180	180-200	200-300	300-400	400-500	
		а	10	12	15	15	20	25	40	50	60	
		б	10	10	10	12	12	15	18	20	25	
6	Микрометры рычажные с ценой деления 0,002 и 0,01 мм, скобы рычажные при установке на нуль по концевым мерам длины при использовании на всем пределе измерения		до 25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-250	250-300	300-400	400-500
		а	4	7	9	12	14	16	18	21	26	30	40	50
		б	4	4,5	5	5	6	7	7	7	7	7	10	10
		в	2	3	3	3	3,5	4	4,5	5	4	5	6	7
		г	0,6	0,8	0,8	1	1,2	1,3	1,4	1,7	1,8	2,3	2,6	3,3
7	Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1		1-3	3-10	10-18	18-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500	
		а	15	15	15	16	18	20	22	25	35	40	45	
		б	12	13	13	14	15	18	20	25	35	40	45	
		в	10	10	10	10	12	12	12	14	18	20	22	
		г	8	8	8	8	8	8	8	9	10	11	12	
		д	5	5	5	5	6	6	6	7	9	9	10	

8	Индикаторы рычажно-зубчатые с ценой деления 0,01 мм и пределом измерений 0,08 мм при измерении биения	а б в	15 10 5								
9	Головки рычажно-зубчатые с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения -0,01..+0,01 мм, с настройкой по концевым мерам		до 10	10-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250		
		а	3	3,5	3,5	4	4,5	5	6		
	То же, с настройкой на нулевое деление	б	1,4	1,5	1,6	1,8	2,2	2,2	-		
10	Головки рычажно-зубчатые с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения -0,05..+0,05 мм, с настройкой по концевым мерам	а	2	2	2	2	2,5	2,5	2,8		
	То же, с настройкой на нулевое деление	б	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	-		
11	Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения 2 мм		до 3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250
		а б в	5 5 3	5 5 3	5 5 3	6 5 4	6 5 4	7 5 4	8 5 4	10 6 4	10 7 4	12 8
12	Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 1 мм	а б	3 2	3 2	3 2,2	3 2,5	3 2,5	3 2,5	3 2,5	3,5 3	3,5 3	4
13	Головки измерительные пружинные (микрокаторы) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерений –0,3..+0,3 мм		до 6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-160		
		а б	6 4	6 4	7 4	7 5	7 5	8 5	10 6	10 6		
14	Микрокаторы с ценой деления 0,005 мм и пределом измерений –0,15..+0,15 мм	а б	5 3	5 3	5 3	5 3	6 3	7 4	9 5	9 5		
15	Микрокаторы с ценой деления 0,002 мм и пределом измерений –0,06..+0,06 мм	а б	1,5 1,0	1,5 1,0	1,5 1,5	1,5 1,5	2 1,5	2 1,5	2,5 2,0	2,5 2,0		
16	Микрокаторы с ценой деления 0,001 мм и пределом измерений –0,03..+0,03 мм	а б	0,7 0,6	0,8 0,6	0,9 0,7	1,0 0,8	1,0 0,8	1,0 0,9	1,2 1,0	1,2 1,0		

Продолжение табл. А.4

Номер для таблиц А.1, А.2	Средства измерений Наименование и случаи применения	Варианты использования	Предельные погрешности измерения, мкм для диапазона размеров, мм											
17	Микрокаторы с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерений –0,015..+0,015 мм	а б	0,50 0,40	0,50 0,40	0,60 0,50	0,60 0,50	0,60 0,50	0,70 0,50	0,90 0,60	0,90 0,70				
18	Микрокаторы с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерений –0,006..+0,006 мм	а б	0,30 0,30	0,30 0,30	0,40 0,35	0,40 0,35	0,40 0,35	0,40 0,40	0,50 0,50	0,60 0,50				
19	Микрокаторы с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерений –0,004..+0,004 мм	а б	0,30 0,25	0,30 0,25	0,35 0,35	0,35 0,35	0,35 0,35	0,40 0,40	0,50 0,45	0,50 0,50				
20	Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерений –0,1..+0,1 мм		до 6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
		а б	2,5 1,5	2,5 1,5	3,0 1,5	3,0 1,5	3,0 1,5	3,5 2	4,5 2	4,5 2	5,5 3	7,5 4	8,5 4	10 5
21	Микаторы с ценой деления 0,001 мм и пределом измерений -0,05..+0,05 мм	а б	1,2 0,7	1,2 0,7	1,5 0,8	1,5 0,9	1,5 0,8	2 1	2 1,2	2 1,2	3 1,5	4 2	4,5 2,5	5,5 3
22	Микаторы с нормальным измерительным усилием, с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерений –0,025..+0,025 мм	а б	0,7 0,4	0,7 0,5	0,8 0,6	0,9 0,7	0,8 0,6	0,9 0,7	1,1 0,8	1,0 0,7	1,1 -	1,8 -	2,5 -	2,8 -
23	Микаторы с уменьшенным измерительным усилием, с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерений –0,025..+0,025 мм	а	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,2
24	Микаторы с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерений -0,01..+0,01 мм	а б	0,45 0,30	0,50 0,35	0,5 0,4	0,6 0,5	0,6 0,5	0,7 0,6	1,0 0,8	1,0 0,7	1,0 0,7			

25	Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерений 0,25мм		до 10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-160
		а	0,90	1,00	1,00	1,00	1,10	1,30	1,30
		б	0,60	0,70	0,80	0,80	0,90	1,20	1,20
26	Оптикаторы с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерений 0,1 мм	а	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,90	0,90
		б	0,35	0,40	0,50	0,50	0,60	0,80	0,80
27	Оптикаторы с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерений 0,05 мм	а	0,30	0,30	0,35	0,35	0,35	0,45	0,45
		б	0,25	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40	0,40
28	Оптикаторы с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерений 0,024 мм	а	0,25	0,30	0,30	0,35	0,35	0,40	0,40
		б	0,25	0,25	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40
29	Головки измерительные рычажно-пружинные (миникаторы) с ценой деления 0,001 (0,002) мм и пределом измерений -0,04..+0,04 (-0,08..+0,08) мм при измерении биения	а	3						
		б	2						
		в	1						
		г	0,5						
30	Оптиметр вертикальный, оптиметр горизонтальный и машина измерительная с ценой деления 0,001 мм и пределом измерений по шкале –0,1..+0,1 мм при относительном методе измерения		до 18	18-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
		а	1	1	1	1,5	1,5	2	2
		б	0,4	0,5	1,6	0,7	0,8	0,9	1,0

31	Микроскопы инструментальные (большая и малая модель)		до 18		18-50		50-80		80-120		120-150			
			4		5		6		9		11			
32	Микроскопы измерительные универсальные		до 3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
		а	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,5	7,0	9,0	12	16	20	25
		б	6,0	6,0	6,0	6,0	6,5	6,5	7,0	8,0	-	-	-	-	-
		в	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	4,0	5,0	-	-	-	-	-

33	Машины измерительные при абсолютных измерениях		до 18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
		а	1	1,2	1,3	1,5	2	3	3,5	4	5	6
	То же при относительных измерениях	б	см. п.30									

Продолжение табл. А.4

Номер для таблиц А.1, А.2	Средства измерений Наименование и случаи применения	Варианты использования	Предельные погрешности измерения, мкм для диапазона размеров, мм									
34	Длиномеры горизонтальный и вертикальный:		до 3	3-10	10-18	18-50	50-80	80-120	120-180	180-315	315-500	
	- при абсолютных измерениях	а	1,2	1,3	1,6	2	2,5	3	-	-	-	
	- при относительных измерениях	б	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,5	
35	Проекторы измерительные		до 6			6-18			18-100			
		а	15			15			16			
		б	8			10			10			
		в	6			6			7			
36	Приборы показывающие с индуктивными преобразователями с переменной ценой деления: 0,1;0,2;0,5;1,0;2,0 мкм и пределами измерений ±3,±6,±15,±30 и ±60 мкм при работе с одним преобразователем		до 3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
		а	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0	435	5,0
		б	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,8	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0
		в	0,8	0,8	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	2,0	2,0	2,5	3,5	4,0	5,0
		г	0,6	0,6	0,6	0,9	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
		д	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	3,0	-	-	-
		е	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	2,0	-	-	-
		ж	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4	1,8	-	-	-
		з	0,4	0,4	0,45	0,6	0,75	0,75	0,75	1,0	1,25	1,75	-	-	-
		и	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	-	-	-	-
		к	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	-	-	-	-
		л	0,35	0,35	0,35	0,45	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	-	-	-	-
		м	0,3	0,3	0,3	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		н	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	-	-	-	-
		о	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	-	-	-	-
		п	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	-	-	-	-	-	-	-

Таблица А.5 – Предельные погрешности измерения внутренних размеров

Номер для таблицы А.3	Средства измерений Наименование и случаи применения	Варианты использования	Предельные погрешности измерения (мкм) для диапазона размеров, мм				
1	Линейки измерительные металлические	-	до 500 500				
	Штангенциркули		до 50	50-120	120-250	120-500	
2	с отсчетом по нониусу 0,1 мм	-	200	250	250	300	
3	с отсчетом по нониусу 0,05 мм	-	150	200	200	250	
			3-18	18-50	50-120	120-250	250-500
4	Нутромеры микрометрические с величиной отсчета 0,01 мм	а б	- -	- -	15 10	20 15	30 20
5	Нутромеры индикаторные с ценой деления отсчетного устройства 0,01 мм	а б в	15 10 5	20 10 5	25 15 10	25 15 10	30 20
6	Нутромеры индикаторные при замене отсчетного устройства измерительной головкой с ценой деления 0,001 или 0,002 мм	а б	4,5 2,8	5,5 3,5	6,5 4,5	7,5 6,5	11 9
7	Нутромеры повышенной точности с ценой деления отсчетного устройства 0,001 и 0,002 мм	а б в	3,5 2 1,5	5 3,5 2,5	- - -	- - -	- - -
8	Оптиметры и длиномеры горизонтальные, измерительные машины с ценой деления отсчетного устройства 0,001	а б	1,5 1	1,5 1	2,5 1,2	5 2,5	9 -

Таблица А.5 – Предельные погрешности измерения внутренних размеров

Номер для таблицы А.3	Средства измерений Наименование и случаи применения	Варианты использования	Предельные погрешности измерения (мкм) для диапазона размеров, мм			
			3-6	6-18	18-50	50-120
9	Пневматические пробки с отсчетным прибором с ценой деления 0,5 мкм с настройкой по установочным кольцам	а б в г д	4 3 2,5 2 1,5	4 3 2,5 2 1,5	4,5 3,5 2,5 2,5 2	5 4 3 3 2,5
10	То же, при цене деления прибора 0,2 мкм	а	0,8	0,5	0,5	0,8
11	Микроскопы инструментальные (большая и малая модели)	-	до 18	18-50	50-120	120-250
			7	10	10	10
12	Микроскопы универсальные измерительные при использование штриховой головки	-	5	6	7	7
13	Приборы с электронным индикатором контакта при настройке по концевым мерам 0-го класса	-	0,3	0,3	0,5	0,5
14	Приборы с электронным индикатором контакта для измерения диаметра малых отверстий при настройке по концевым мерам 0-го класса	-	0,5	-	-	-

Таблица А.6 – Допуски и отклонения калибров (ГОСТ 24853 – 81)

Квалитеты допусков изделий	Обозначение размеров и допусков	Интервалы размеров, мм									Допуск на форму калибра
		до 3	св.3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св. 30 до 50	св.50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	
		Размеры и допуски, мкм									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	*Z*	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	
	Y	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3	
	Z_1	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	
	Y1	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	H; H_S	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	*IT1*
	H_1	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	*IT2*
	H_P	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	*IT1*
7	*Z*; Z_1	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	
	Y_1; Y_1	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	H; H_1	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	*IT2*
	H_S	-	-	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	*IT1*
	H_P	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	*IT1*
8	*Z*; Z_1	2	3	3	4	5	6	7	8	9	
	Y; Y_1	3	3	3	4	4	5	5	6	6	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	*IT2*
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12	*IT3*
	H_S; H_P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	*IT1*
9	*Z*; Z_1	5	6	7	8	9	11	13	15	18	
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	4	6	8	*IT2*
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12	*IT3*
	H_S; H_P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	*IT1*
10	*Z*; Z_1	5	6	7	8	9	11	13	15	18	
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	*IT2*
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12	*IT3*
	H_S; H_P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	*IT1*
11	*Z*; Z_1	10	12	14	16	19	22	25	28	32	
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H_1	4	5	6	8	9	11	13	15	18	*IT4*
	H_S	-	-	4	5	6	7	8	10	12	*IT3*
	H_P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	*IT1*
12	*Z*; Z_1	10	12	14	16	19	22	25	28	32	
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H_1	4	5	6	8	9	11	13	15	18	*IT4*
	H_S	-	-	4	5	6	7	8	10	12	*IT3*
	H_P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	*IT1*

Таблица А.6 – Допуски и отклонения калибров (ГОСТ 24853 – 81)

Квалитеты допусков изделий	Обозначение размеров и допусков	Интервалы размеров, мм									Допуск на форму калибра
		до 3	св.3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св. 30 до 50	св.50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	
		Размеры и допуски, мкм									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	*Z; Z1*	20	24	28	32	36	42	48	54	60	
	Y; Y1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	*IT5*
	HS	-	-	9	11	13	16	19	22	25	*IT5*
	HP	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	*IT2*
14	*Z; Z1*	20	24	28	32	36	42	48	54	60	
	Y; Y1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	*IT5*
	HS	-	-	9	11	13	16	19	22	25	*IT5*
	HP	2	2,5	2,5	2	4	4	5	6	8	*IT2*
15	*Z; Z1*	40	48	56	64	72	80	90	100	110	
	Y; Y1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	*IT5*
	HS	-	-	9	11	13	16	19	22	25	*IT5*
	HP	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	*IT2*
16	*Z; Z1*	40	48	56	64	72	80	90	100	110	
	Y; Y1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	*IT5*
	HS	-	-	9	11	13	16	19	22	25	*IT5*
	HP	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	*IT2*
17	*Z; Z1*	40	48	56	64	72	80	90	100	110	
	Y; Y1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	*IT5*
	HS	-	-	9	11	13	16	19	22	25	*IT5*
	HP	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	*IT2*

В авторской редакции

Изд. № 179/2022. Объем 4,75 п.л. Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 4,66.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»