

## Раздел 3. Допуски и технические измерения

### Тема 3.1 Допуски и посадки, средства измерений

#### Допуски и посадки

**Допуск** в машиностроении, интервал, в котором допускается отклонение числовой характеристики параметра от его номинального (расчётного) значения допуска задают на геометрические параметры деталей машин и механизмов (линейные и угловые размеры, форму и расположение поверхностей и др.), на механические, физико-химические и др. параметры (например, электрическое сопротивление, твёрдость, процентное содержание химических элементов в материалах и т.д.).

Допуск указывают в стандартах, технических требованиях или на чертежах изделий в виде двух предельных размеров (наибольшего и наименьшего), между которыми находится действительный размер, т. е. размер, определённый измерением (*рис. 1*). Вместо предельных размеров в технической документации обычно указывают номинальный размер, полученный из расчёта на прочность, жёсткость и т. д. с учётом функционального назначения изделия, и два предельных отклонения — верхнее и нижнее, равные соответственно алгебраической разности наибольшего или наименьшего предельных размеров и номинального размера. Т. о., в узком смысле слова допуск — разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или между верхним и нижним отклонениями. Например, если задана твёрдость поверхности детали 62—64 HRC, то допуск твёрдости равен 2 HRC; если задан размер детали  $60^{+0,1}_{-0,3}$  то допуск размера равен 0,2 мм. Любое значение параметра, оказывающееся в заданном интервале, является допустимым.

Наиболее широко понятие допуск распространено в машиностроении, где допуск устанавливают для обеспечения необходимого качества изделий и взаимозаменяемости деталей или целых узлов машин и механизмов. Допуск характеризует уровень требований к точности изготовления деталей. От него зависит выбор метода обработки, оборудования и способов контроля и в конечном итоге стоимость изготовления. На практике не стремятся получить идеальные детали, т.к. это невозможно по условиям технологии и методам контроля и необязательно для обеспечения правильной работы машины или механизма. Кроме допуска на изготовление, устанавливают допуск на изменение характеристик изделий в процессе эксплуатации.

Все детали машин подвижно или неподвижно соединены друг с другом. Допуск на сопрягаемые детали определяет характер их соединения, т. е. большую или меньшую свободу их относительного перемещения или степень сопротивления взаимному смещению, или посадку. В соединении двух деталей различают охватывающую поверхность, называемую в общем случае отверстием, и охватываемую поверхность, называемую валом.

**Посадка** определяется разностью размеров отверстия и вала. Размер отверстия может быть больше размера вала, тогда разность между ними называется **зазором**. Если размер вала до сборки деталей больше размера отверстия, то разность между ними называется **натягом**. Действительный зазор (или натяг) должен находиться между двумя предельными значениями: наибольшим и наименьшим зазорами (или натягами). Разность между предельными зазорами (или натягами) называется допуском посадки. **Существуют 3 группы посадок: подвижные (свободные), прессыовые и переходные.** Первые характеризуются гарантированным наименьшим зазором в соединении. К этой группе относятся также так называемые скользящие посадки, в которых гарантированный зазор равен нулю. **Посадки с зазором** применяют, как правило, в подвижных соединениях, а в неподвижных соединениях — для облегчения сборки деталей. В последнем случае детали дополнительно закрепляют. В таких соединениях, как подшипниковая цапфа, вращающаяся во втулке, зазор обеспечивает необходимую свободу взаимного

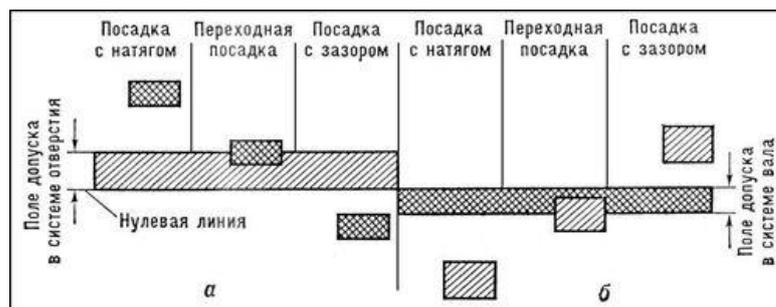
перемещения деталей. **Посадки с натягами** характеризуются гарантированным (наименьшим) натягом. Эти посадки применяют в неподвижных соединениях, передающих нагрузки (осевое усилие или крутящий момент), причём неподвижность обеспечивается, как правило, без дополнительного крепления деталей, за счёт деформации поверхности. Пример такой посадки — соединение зубчатого венца со стальной или чугунной ступицей. Соединение с натягом осуществляется под прессом или при нагревании охватывающей детали и охлаждении охватываемой. **В переходных посадках** возможно получение как зазоров, так и натягов. Эти посадки применяют для неподвижных соединений деталей, когда требуется их хорошее взаимное центрирование и разборка соединения при монтаже, осмотрах и ремонте (например, соединение зубчатого колеса с валом редуктора). Детали, передающие нагрузки, обычно дополнительно закрепляют шпонками, штифтами, болтами и др.

В зависимости от выбранной посадки предельно допустимые отклонения могут быть положительными или отрицательными. При графическом изображении допусков и посадок от линии, условно изображающей номинальный размер детали или соединения (нулевой линии), можно отложить в принятом масштабе предельные отклонения отверстия и вала (положительные вверх, отрицательные вниз). Зону, заключённую между этими линиями, называют полем допуска размера (*рис. 2*). Сравнение взаимного положения полей допуска позволяет определить посадку для данного соединения.

Посадки и допуски регламентированы стандартами и представлены в виде таблиц, составленных на основе закономерно построенных рядов предельных отклонений валов и отверстий. Система допусков и посадок сводит всё многообразие возможных допусков к минимуму, удовлетворяющему потребностям проектирования и производства, что создаёт предпосылки для унификации изделий, уменьшения номенклатуры инструментов (например, развёрток, калибров) и др. технологической оснастки, сокращает сроки проектирования и период подготовки производства. Таблицы стандартных отклонений построены по системе отверстия и по системе вала. В системе отверстия основной деталью является деталь с отверстием и его номинальный размер и отклонения для всех посадок одни и те же. Посадки получаются за счёт изменений предельных отклонений вала (посадочной детали). В системе вала основной деталью служит вал, а посадочной — деталь с отверстием. В стандартах на допуски и посадки предусмотрено несколько классов точности, в которых допуск увеличивается с ростом номинального размера в соответствии с так называемой единицей допуска. Один и тот же размер в разных классах точности имеет разные допуски, составляющие обычно геометрическую прогрессию со знаменателем 1,6.

Допуски и посадки обозначают на чертежах, в технической документации, ГОСТах с помощью букв и цифр. Например, основное отверстие 3-го класса точности обозначают  $A_3$ , а основной вал того же класса точности  $B_3$ . На сборочном чертеже указывают также посадку, например  $\square 8 A_4/C_3$  обозначает соединение со скользящей посадкой вала по 3-му классу точности ( $C_3$ ), с отверстием по 4-му классу точности ( $A_4$ ).

Из общего числа стандартных полей допусков (предельных отклонений) выделен сокращённый набор, рекомендованный для первоочередного применения. Эти поля называются предпочтительными. Стандарты устанавливают допуск и посадки не только для цилиндрических, но и для конических деталей, резьбовых (шпоночных, шлицевых соединений зубчатых передач и др.).



**Рис. 1. Графическое изображение предельных размеров (а) и предельных отклонений — допусков — вала и отверстия (б).**

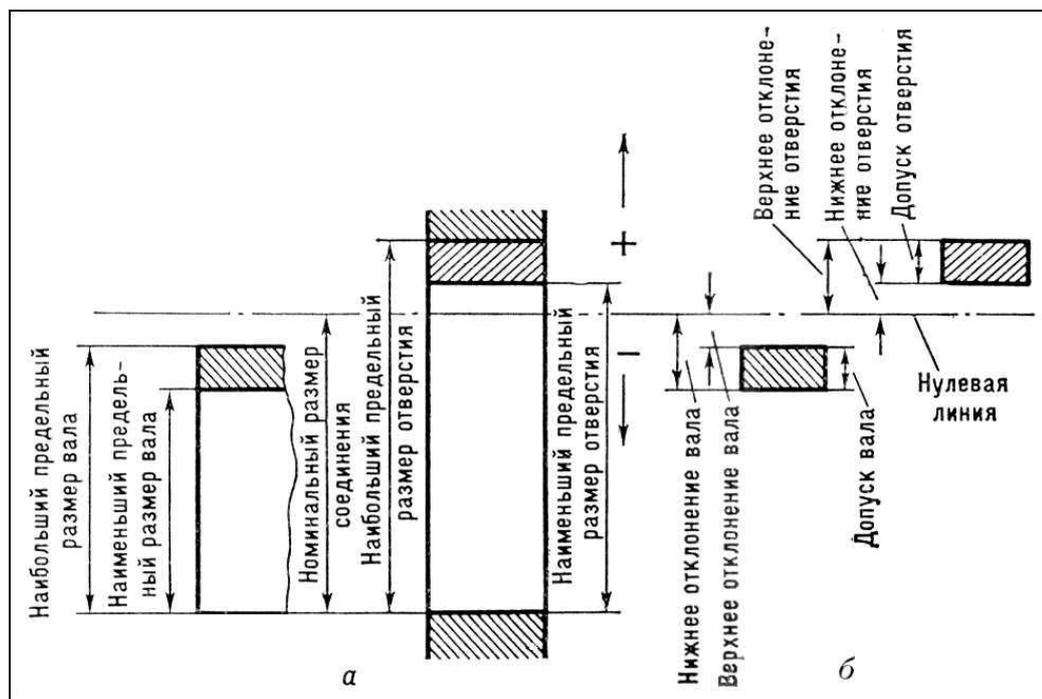


Рис. 2. Графическое изображение полей допусков в системе отверстия (а) и в системе вала (б)

### Взаимозаменяемость

**Взаимозаменяемость**, свойство деталей или узлов машин, агрегатов, механизмов, аппаратов и др. технических конструкций, позволяющее заменить их или смонтировать без дополнительной обработки при сохранении всех требований, предъявляемых к работе данного узла, механизма машины или конструкции в целом. В более широком смысле взаимозаменяемость — комплексное понятие, характеризующее направление в развитии современной техники. В этом смысле взаимозаменяемость включает в себя вопросы проектирования, технологии и эксплуатации машин, приборов и др. Взаимозаменяемость имеет огромное народнохозяйственное значение и является одной из важнейших предпосылок организации массового и крупносерийного производства. Лишь при обеспечении взаимозаменяемости возможно широкое кооперирование производства (в масштабах не только одной, но и нескольких стран), основанное на изготовлении деталей и узлов одних и тех же машин на различных специализированных предприятиях. Если взаимозаменяемость обуславливает выпуск из производственных цехов в сборочные номинально одинаковых по назначению, конструкции и размерам деталей, полностью отвечающих качественным и физическим требованиям, а по форме и размерам соответствующих тем рабочим местам в механизмах, которые детали должны занимать, то такая взаимозаменяемость называется **полной**. Например, электролампы (диаметры и резьба цоколей), штепсельные вилки, лезвия бритв, винты, гайки, подшипники качения и др. могут применяться только при условии полной взаимозаменяемости. В ряде случаев экономически или технически выгодна незначительная дополнительная обработка одной из сопрягаемых деталей при сборке, или предварительная сортировка деталей и их монтаж по группам, без всяких, однако, ручных операций пригонки по месту, или подбор отдельных деталей из партии по их размерам и т.д. — это так называемая **неполная** взаимозаменяемость. Она применяется преимущественно при сборке машин и приборов на предприятии и сравнительно редко распространяется на запасные части. Одной из основных предпосылок взаимозаменяемости является выполнение размеров сопрягаемых деталей в пределах установленных допусков.

## Классы точности

**Классы точности** средств измерений, обобщённая характеристика средств измерений, служащая показателем установленных для них государственными стандартами пределов основных и дополнительных погрешностей и др. параметров, влияющих на точность. Например, для концевых мер длины классы точности характеризуют пределы допускаемых отклонений от номинального размера и влияние изменений температуры, а также допустимую непараллельность рабочих поверхностей и отклонение их от идеальной плоскости. Введение классов точности облегчает стандартизацию средств измерений и их подбор для измерений с требуемой точностью.

Из-за разнообразия измеряемых величин и средств измерений нельзя ввести единый способ выражения пределов допускаемых погрешностей и единые обозначения классов точности. Если пределы погрешностей выражены в виде приведенной погрешности (т. е. в процентах от верхнего предела измерений, диапазона измерений или длины шкалы прибора), а также в виде относительной погрешности (т. е. в процентах от действительного значения величины), то К. т. обозначают числом, соответствующим значению погрешности. Например: класс точности 0,1 соответствует погрешность 0,1%. Многие показывающие приборы (амперметры, вольтметры, манометры и др.) формируются по приведённой погрешности, выраженной в процентах от верхнего предела измерений. В этих случаях применяется ряд классов точности: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. При нормировании по относительной погрешности обозначение К. т. заключают в кружок.

Для гирь, мер длины и приборов, для которых предел погрешности выражают в единицах измеряемой величины, классы точности принято обозначать номером (1-й, 2-й и т.д. — в порядке снижения К. т.). При указании конкретного класса точности слово «точность» обычно опускается, например гири 3-го класса. Ряды К. т., их обозначения и соответствующие требования к средствам измерений включаются в стандарты (ГОСТ) на отдельные их виды.

## Меры длины

**Меры длины** служат для воспроизведения длин заданного размера. Меры длины подразделяются на штриховые, концевые и штрихо-концевые. Размеры штриховых мер длины определяются расстоянием между нанесёнными на них штрихами, концевых — расстоянием между измерительными поверхностями, ограничивающими меры. Штрихо-концевые меры длины — это концевые меры, на которых дополнительно нанесены штрихи, соответствующие дольным единицам длины.

**Штриховые** меры длины бывают однозначные и многозначные. Конструктивно они обычно выполняются в виде стержней (брусков) и лент, имеют номинальные значения от 0,1 мм (измерительные шкалы) до десятков метров (землемерные ленты, проволоки, рулетки). Штриховыми мерами длины являются также шкалы оптикомеханических приборов (измерительных микроскопов, микрометров и др.) и настроечных устройств станков.

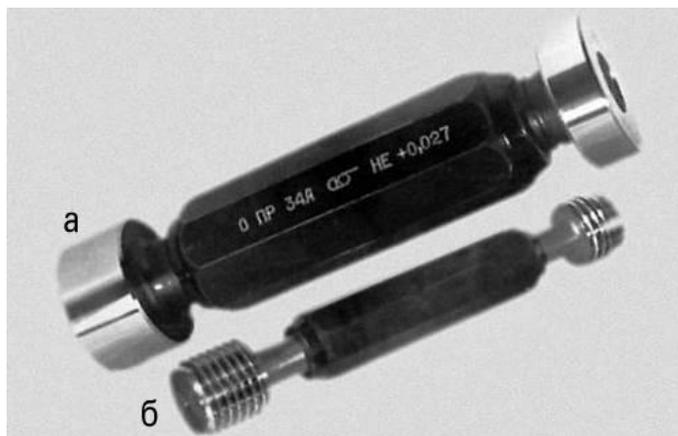
Штриховые меры длины подразделяются на шесть классов точности: 0; 1; 2; 3; 4 и 5, для которых относительные погрешности лежат в пределах от  $0,5 \times 10^{-6}$  (для класса 0) до  $5 \times 10^{-5}$  (для класса 5).

**Концевые** меры длины бывают только однозначные. Подразделяются они на 4 класса точности: 0; 1; 2 и 3, относительные погрешности которых лежат в пределах от  $2 \times 10^{-6}$  (класс 0) до  $2 \times 10^{-5}$  (класс 3). К концевым мерам длины относят иногда калибры, хотя правильнее их относить не к средствам измерений, а к средствам контроля.

**Штрихо-концевые** меры длины применяются чаще всего в торговле для отпуска тканей и др. подобных товаров (т. н. торговые М. д.).

По метрологическому назначению меры длины подразделяются на образцовые и рабочие.

**Калибр** (франц. calibre) измерительный, бесшкальный измерительный инструмент, предназначенный для контроля размеров, формы и взаимного расположения частей изделий. Контроль состоит в сравнении размера изделия с калибром по вхождению или степени прилегания их поверхностей. Такое сравнение позволяет рассортировывать изделия на годные, (размер находится в пределах допуска) и бракованные с возможным исправлением или неисправимые. Наиболее распространены предельные калибры: проходные, выполненные по наименьшему предельному размеру отверстия или наибольшему размеру вала и входящие в годные изделия, и непроходные, выполненные по наибольшему размеру отверстия или наименьшему размеру вала и не входящие в годные изделия. По назначению различают калибры: рабочие — для проверки изделий на предприятии-изготовителе, приёмные — для перепроверки изделий заказчиком и контрольные — для проверки или регулировки рабочих и приёмных калибров. Достоинства калибра — простота конструкции, возможность комплексного контроля изделий сложной формы. Недостатки — малая универсальность, невозможность определить действительные отклонения размеров. Применение калибров в машиностроении сокращается за счёт внедрения универсальных средств измерения, механизированных и автоматических приборов.



**Рис. Предельные калибры: а — для проверки гладких отверстий; б — для проверки резьбовых отверстий**

### **Концевые меры**

**Концевые меры**, меры длины с постоянным значением размера между двумя взаимно параллельными измерительными плоскостями. Появление концевых мер относится к 1900, когда на Всемирной выставке в Париже фирма Иогансон (Швеция) продемонстрировала концевые меры, из которых можно было составлять блоки на основе свойства притираемости. Поэтому иногда концевые меры такого типа называются плитками Иогансона производство концевых мер в СССР впервые было налажено на Тульском и Сестрорецком заводах, а начиная с 30-х гг. К. м. выпускаются серийно, их производство сосредоточено на инструментальных заводах «Калибр» (Москва) и «Красный инструментальщик» (Киров).

Концевые меры служат для передачи значений размера от государственного эталона длины до изделия. Применение концевых мер обеспечивает единство средств измерений в машиностроении, концевыми мерами поверяют **контрольно-измерительные средства**, устанавливают измерительные средства на номинальный размер, настраивают станки и приспособления, устройства для разметочных работ и т. д.

Концевые меры имеют форму прямоугольного параллелепипеда или кругового цилиндра.

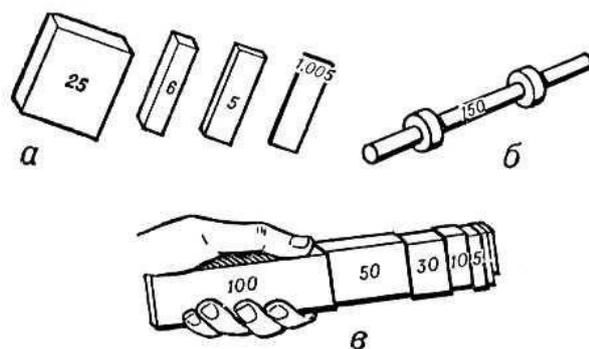
**Цилиндрические** концевые меры изготавливаются обычно размерами от 25 до 1000 мм через каждые 25 мм. Они используются чаще всего для проверки **измерительных машин**.

Распространены преимущественно стальные концевые меры в виде прямоугольного параллелепипеда размером от 0,1 до 2000 мм с градацией номинальных значений 0,001; 0,01; 0,1; 0,5; 10; 25; 50; 100 и 1000 мм. Размеры измерительных поверхностей 5'15 мм для концевых мер до 0,29 мм, 9'30 мм — для К. м. до 10 мм и 9'35 — для концевых мер свыше 10 мм. концевые меры с размером свыше 100 мм имеют два отверстия диаметром 12 мм на расстоянии 25 мм от измерительных поверхностей для скрепления двух мер специальными стяжками.

Концевые меры выпускаются в одном футляре наборами, чтобы можно было составлять блоки для измерения любого размера, собирая их из возможно меньшего числа концевых мер (не более 5 штук). Выпускается (1972) 15 наборов, из них в самом большом насчитывается 116 концевых мер с номинальными размерами от 0,5 до 100 мм. Для проверки и разметки размеров до 1500 мм концевые меры используют со специальными наборами принадлежностей. При работе с К. м. используют также свойство притираемости. В процессе перемещения одной концевой меры по поверхности другой при наличии тончайшего слоя смазки возникает сцепление между их поверхностями, и при этом истекает смазка, аккумулированная в микропорах концевых мер. Это позволяет составлять блоки из концевых мер размером до 100 мм без дополнительного крепления. Для обеспечения притираемости концевые меры должны иметь шероховатость рабочих поверхностей 13—14-го класса, а твёрдость материала должна быть не ниже 62 HRC. Размер блока отличается от размера входящих в него концевых мер не менее 0,1—0,05 мкм для каждого промежуточного слоя.

Параметрами точности плоскопараллельных концевых мер являются длина перпендикуляра, опущенного из любой точки измерительной поверхности концевых мер на противоположную поверхность, и отклонение от плоскопараллельности — разность между длиной К. м. в данной точке и срединной длиной. Точность концевых мер нормируется классами точности (от 0 до 4) и разрядами (от 1 до 5). Класс определяется допустимыми отклонениями от длины и плоскопараллельности, а разряд присваивается в зависимости от точности измерения при аттестации длины и допустимого отклонения от плоскопараллельности. Набор концевых мер наивысшего разряда, имеющийся на предприятии, называется основным и используется как исходный для поддержания единства мер на этом предприятии. В иностранной практике отсутствует деление точности концевых мер по классам и разрядам.

Заводы освоили выпуск концевых мер из твёрдых сплавов, стойкость которых к истиранию в 10—40 раз выше, чем у стальных концевых мер. Недостатком таких концевых мер является большая погрешность при измерениях, особенно на больших размерах, что объясняется значительной разностью коэффициента линейного расширения твёрдого сплава, из которого изготовлены концевые меры, и материала изделия (обычно сталь). Возможно производство больших концевых мер с измерительными поверхностями, армированными пластинами из твёрдого сплава.



**Рис. Концевые меры длины: а — прямоугольные плоскопараллельные; б — цилиндрические; в — блок плиток.**

### Меры, средства измерений

**Меры, средства измерений**, предназначенные для воспроизведения физических величин заданного размера. Наряду с простейшими мерами, такими, как меры массы (гири) или меры вместимости (мерные стаканы, цилиндры и т.д.), к мерам относятся и более сложные устройства, например нормальные элементы (меры электродвижущей силы), катушки электрического сопротивления, светоизмерительные лампы и пр. Меры подразделяются на однозначные (воспроизводящие физическую величину одного размера) и многозначные (обеспечивающие воспроизведение ряда величин различного размера, например нескольких длин). Примеры первых — гиря, измерительная колба, катушка индуктивности; примеры вторых — линейка со шкалой, конденсатор переменной ёмкости, вариометр индуктивности. Из мер могут составляться наборы (гирь, концевых мер длины и пр.) для ступенчатого воспроизведения ряда одноимённых величин в определённом диапазоне значений. Наборы мер электрических величин иногда снабжаются переключателями и образуют магазины (электрических сопротивлений, ёмкостей и др.).

**Под номинальным значением** мер понимается значение величины, указанное на мере или приписанное ей (гиря в 1 кг, катушка сопротивления в 1 Ом), под действительным значением меры — значение величины, фактически воспроизводимой мерой, определённое настолько точно, что его погрешностью можно пренебречь при использовании мер. Разность между номинальным и действительным значением меры приближённо равна погрешности мер. От меры требуется, чтобы они были стабильными во времени. В зависимости от уровня допускаемых погрешностей меры подразделяют на классы точности. Меры используют в качестве эталонов, образцовых или рабочих средств измерений. Образцовые меры получают значения от эталонов и применяются для проверки рабочих мер. Физические условия (температура, давление, влажность и др.), при которых погрешности мер не превышают допускаемых пределов, указываются в инструкциях по применению и поверке мер. Часто меры входят в комплект более сложных измерительных приборов или установок. Отдельную категорию мер составляют образцовые вещества — чистые или приготовленные по особой спецификации, обладающие известными и воспроизводимыми свойствами: чистая вода, чистые газы (водород, кислород), чистые металлы (цинк, серебро, золото, платина), бензойная кислота и др. К мерам относятся и получающие всё более широкое распространение стандартные образцы, обладающие определёнными физическими свойствами (например, образцы стали определённого состава, твёрдости и т.д.).

## Поверка средств измерений

**Поверка средств измерений**, определение погрешностей средств измерений и установление их пригодности к применению. Поверка производится органами метрологической службы при помощи эталонов и образцовых средств измерений. Обязательной государственной поверке подлежат средства измерений, применяемые для учёта материальных ценностей, государственных испытаний, экспертиз, регистрации национальных и международных рекордов в спорте, а также для поверки исходных образцовых средств измерений. Ведомственной поверке подлежат все остальные средства измерений.

Существуют следующие виды поверки: первичная, производимая при выпуске средств измерений в обращение из производства или ремонта; периодическая, выполняемая во время эксплуатации и хранения средств измерений; внеочередная, обусловленная необходимостью немедленного подтверждения исправности средств измерений; инспекционная, производимая при метрологических ревизиях на предприятиях, базах снабжения, складах и в торговых организациях.

Поверка может осуществляться:

- непосредственным сличением поверяемого средства измерений с образцовым того же вида (т. е. меры с мерой или одного измерительного прибора с другим);
- сличением средств измерений одного и того же вида при помощи компаратора (например, гирь на весах);
- прямым измерением, поверяемым прибором величины, воспроизводимой образцовой мерой, прямым измерением образцовым прибором величины, воспроизводимой подлежащей поверке мерой;
- косвенным измерением величины, измеряемой подлежащим поверке средством измерений.

Возможна также независимая поверка, т. е. поверка средств измерений относительных (безразмерных) величин, не требующая передачи размеров единиц от эталонов.

Описание методов и технических приёмов поверки конкретных средств измерений содержится в соответствующих государственных стандартах или методических указаниях. Нередко методы поверки и соответствующие компарирующие приборы указываются в поверочных схемах, устанавливающих порядок и точность передачи единиц от эталонов образцовым, а от них — рабочим средствам измерений. При положительных результатах поверки на средство измерений налагается поверительное клеймо и в необходимых случаях выдаётся свидетельство о поверке.

### **Тема 3.2 Контрольно-измерительные средства, приборы и инструменты**

#### **Контрольно-измерительные средства**

**Контрольно-измерительные средства** в технике, обобщённое название группы средств, применяемых для измерения и контроля линейных и угловых размеров деталей и готовых изделий. Технические средства с нормированными метрологическими параметрами или свойствами, предназначенные для нахождения значения физической величины опытным путём, принято называть средствами измерения (измерительными). Если же при определении значения физической величины опытным путём необходимо установить, находится ли размер в пределах нормируемых допускаемых значений, то такие средства называются контрольными. Все применяемые для измерения приборы, на которых можно отсчитать значение размера, могут использоваться также для контроля.

**Условно Контрольно-измерительные средства** разделяются на измерительные инструменты и измерительные приборы. Наиболее часто к инструментам относят простейшие средства (линейки, калибры, штангенциркули), а к приборам — более сложные (профилометры, микрокаторы и т. д.). В государственных стандартах принято укрупнённое разделение контрольно-измерительных средств на меры и измерительные приборы. К мерам относят контрольно-измерительные средства, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера (например, концевые меры, калибры). К измерительным приборам относят средства измерения, выдающие сигнал измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем (оператором). Например, в аналоговых приборах показания, т. е. значения измеряемых величин, определяют по отсчётному устройству. В регистрирующих приборах предусмотрена регистрация показаний самописцем и печатающим устройством. По принципу действия различают механические, оптические, электрические и пневматические измерительные приборы или комбинированные — оптико-механические, пневмо-электрические, пневмо-оптические и т. д. Принцип действия прибора часто отражается в его названии, например электроиндуктивный профилометр, пневматический прибор для измерения внутренних размеров и т. д. В зависимости от принципа действия измерительные приборы имеют различные преобразовательные элементы. Так, в механических приборах используют механические преобразовательные устройства: резьбовые (например, в микрометре), рычажные в (миниметре), рычажно-зубчатые, зубчатые (в индикаторе часового типа), пружинные (в микрокаторе); в оптических измерительных приборах действие преобразовательных устройств основывается на световых явлениях; в электрических приборах — на электрических явлениях (индуктивности, фотоэлектрических эффектах и др.); в пневматических измерительных приборах — на зависимости количества воздуха, протекающего в единицу времени через отверстие, от площади самого узкого поперечного сечения этого отверстия. Основными метрологическими показателями, определяющими эксплуатационные характеристики прибора, являются: цена деления шкалы, диапазон измерений, предел и погрешность измерений.

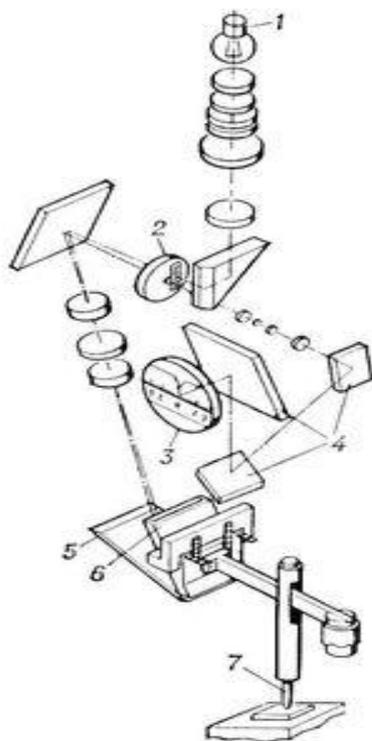
**Существует условное разделение контрольно-измерительных средств на универсальные и специальные.** К универсальным средствам измерения относятся те, с помощью которых измеряют и контролируют линейные величины (диаметры и длины) независимо от конфигурации контролируемой детали (штанген-инструмент, микрометры, скобы, оптиметры и др.). Специальные контрольно-измерительные средства предназначаются для измерения либо деталей определенной конструктивной формы (например, зубоизмерительные приборы, резьбоизмерительный инструмент и т. д.), либо определённого параметра изделия (шероховатости, плоскостности, прямолинейности и т. д.). По расположению относительно детали различают контрольно-измерительные средства накладные, станковые и приставные. Накладные средства измерения располагаются на детали, в станковых средствах деталь располагается при измерении на приборе, приставные средства координируются вместе с деталью относительно одной базовой поверхности. По характеру взаимодействия с деталями контрольно-измерительные средства разделяют на контактные, чувствительный элемент которых имеет механический контакт с поверхностью детали, и бесконтактные, в которых контакт отсутствует (например, оптические и пневматические приборы). По степени участия оператора в процессе измерения контрольно-измерительные средства разделяют на ручные, механизированные, полуавтоматические и автоматические.

**Оптиметр** (от греч. *optós* — видимый и...метр), прибор для измерения линейных размеров (относительным методом), преобразовательным элементом в котором служит рычажно-оптический механизм. Рычажной передачей является в механизме качающееся зеркало, оптическим преобразователем — автоколлимационная трубка. Качающееся

зеркало в измерительных приборах впервые применил немецкий инженер И. Сакстон в 1837. Прибор, в котором использовалось качающееся зеркало с автоколлимационной зрительной трубкой, впервые изготовлен в 1925 (фирма Цейс, Германия). Выпускаются вертикальные и горизонтальные О., различающиеся только конструкцией станины. Оптический преобразователь оптиметр — трубка может иметь окулярный или проекционный отсчёт (*рис.*). В трубке с проекционным отсчётом освещается лампой пластина, на которой с одной стороны от центра нанесена шкала, а с другой — индекс. В окулярной трубке пластина освещается «зайчиком» от специального зеркала. Изображение шкалы попадает сначала на неподвижное зеркало, а затем на зеркало, которое качается и занимает различные угловые положения в зависимости от положения измерительного стержня. В трубке с окулярным отсчётом нет неподвижного зеркала. После отражения от зеркала изображение шкалы попадает на вторую половину пластины (накладывается на индекс). Вторичное изображение шкалы, которое смещается относительно неподвижного индекса при перемещении стержня, проектируется с помощью зеркал на экран в проекционной трубке оптиметра (или рассматривается через окуляр). Трубка оптиметра имеет шкалу с ценой деления 1 мкм, предел измерения по шкале  $\pm 100$  мкм.

Оптиметр с ценой деления 0,2 мкм и пределом измерения  $\pm 25$  мм известен под названием ультраоптиметр; его отличие от рассмотренной схемы заключается в том, что изображение шкалы дважды отражается от подвижного зеркала, благодаря чему увеличивается длина оптического рычага, что позволяет уменьшить цену деления.

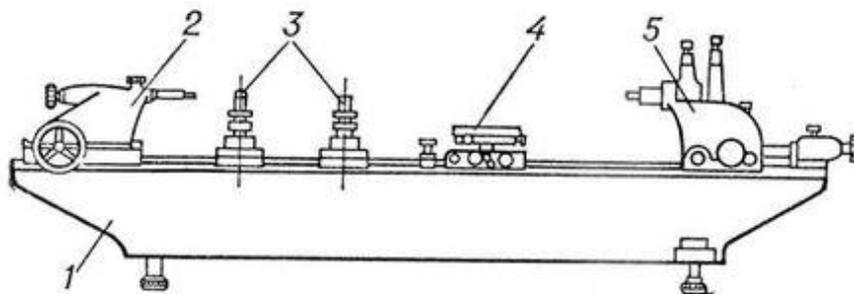
Оптиметр снабжаются съёмной оснасткой: приспособлениями для измерения среднего диаметра резьбы, размеров проволочек, длин концевых мер и т.п.; проекционной насадкой для окулярных трубок, электроконтактной головкой для измерения отверстий размерами от 1 до 13,5 мм (горизонтальный оптиметр) и др.



**Рис. Схема оптиметра с проекционным отсчётом:**

1 — лампа; 2 — пластина со шкалой и индексом; 3 — экран; 4 — проектирующие зеркала; 5 — неподвижное зеркало; 6 — качающееся зеркало; 7 — измерительный стержень.

**Измерительная машина**, оптико-механический прибор для измерения наружных и внутренних линейных размеров деталей. Изготавливают измерительные машины с верхним пределом измерения наружных и внутренних линейных размеров до 1; 2; 4; 6; 8 и 12 мм (наружных от 0, внутренних от 13,5 мм). Контролируемая деталь устанавливается (рис.) на предметном столе (масса деталей до 10 кг, а на специальных столах — до 60 кг) или на люнетах между наконечниками пинольной бабки и отсчётного устройства. В качестве отсчётного устройства применяется трубка оптиметра или интерферометра. Измерение осуществляется относительным (сравнительным) или абсолютным методом. Относительный метод заключается в сравнении размера контролируемой детали с заранее известным размером образцовой детали. В качестве образцовых деталей чаще всего используются плоскопараллельные концевые меры длины. Отклонение размера контролируемой детали от образцовой показывает отсчётное устройство. При абсолютных измерениях размер контролируемой детали определяют по двум шкалам: первой — с ценой деления 100 мм и длиной, равной верхнему пределу измерения; второй — с ценой деления 0,01 мм и длиной 100 мм. При абсолютном методе измерительные машины настраиваются на номинальный размер детали установкой пинольной бабки по первой шкале и измерительной бабки — по второй шкале. Для определения отклонения от настроенного номинального размера служит отсчётное устройство. Обычно показания с обеих шкал с помощью оптической системы сводятся на микроскоп, находящийся в измерительной бабке. Измерительные машины используются главным образом для проверки и настройки нутромеров, предназначенных для контроля больших размеров и измерения больших концевых мер. Имеются измерительные машины, позволяющие измерять шаг ходовых винтов. Допускаемая погрешность измерения концевых мер абсолютным методом с введением поправок по шкале выражается формулой  $\pm(0,4-4 \cdot 10^{-3}L)$  мкм, где  $L$  — номинальная измеряемая длина в мм. Иногда термин «Измерительная машина» неправильно применяют для названия сложных стационарных измерит, средств, применяемых для контроля разных параметров.



**Рис. Оптико-механическая измерительная машина:**

1 — станина; 2 — пинольная бабка; 3 — люнет; 4 — предметный стол; 5 — измерительная бабка с отсчётным устройством.

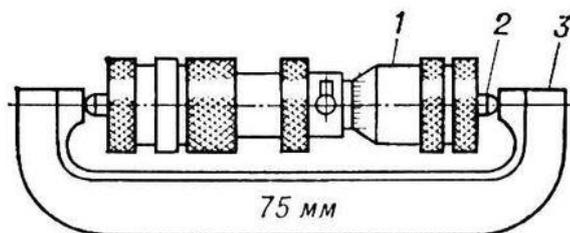
**Нутромер**, измерительное средство для определения внутренних линейных размеров (отверстий, пазов и т.п.), устанавливаемое при измерениях на детали (или вводимое в деталь). Измерения производят, как правило, двумя сферическими наконечниками, расположенными под углом 180°. Большинство нутромеров имеет устройства для установки (центрирования) линии измерения в направлении контролируемого размера, а также дополнительные механизмы для передачи перемещений от измерительных наконечников на отсчётное устройство. Строгой классификации нутромеров нет. Чаще всего нутромеру присваивают название по какому-либо отличительному признаку: по конструкции — цанговые, шариковые и т.п., по типу отсчётного устройства — индикаторные и др., по виду контакта с измеряемой поверхностью, например кромочные, и т.д.

Первые нутромеры появились в 16—17 вв. Они представляли собой циркуль с загнутыми наружу концами ножек. Простейший нутромер — предельный калибр, т. н. штихмасс, выполнен в виде стержня или трубки со сферическими измерительными наконечниками и служит для контроля относительно больших отверстий (диаметром от 100 до 2500 мм). Для более точных измерений используют **микрометрические нутромеры (рис. 1)** со сменными удлинителями с пределами измерений от 50 до 2500 мм (5 типоразмеров). Такие нутромеры для определения диаметров от 1250 до 10 000 мм (3 типоразмера) имеют дополнительно индикаторы часового типа.

Для отверстий относительно небольших размеров обычно применяют нутромеры, имеющие различные передаточные механизмы (от наконечников к отсчётному устройству) — конусные, рычажные, клиновые. Для отверстий малых диаметров предназначаются нутромеры с конусными передачами: кромочные (размер от 0,2 мм определяют по шкале с нониусом или по стрелочной отсчётной головке); цанговые (известны Н. от 0,95 мм), шариковые (от 3 до 18 мм) 3 типоразмеров и др.

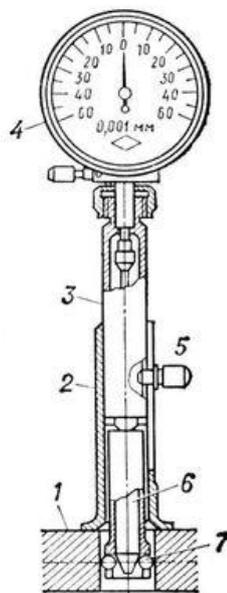
**Индикаторные нутромеры (рис. 2)** выпускаются обычно с рычажными и клиновыми передачами. Такие нутромеры с рычажной передачей имеют предел измерений 3—1000 мм (10 типоразмеров), с клиновой (более точные) — 18—50 мм.

Большинство нутромеров имеет две точки контакта с измеряемой поверхностью (двухконтактная схема измерения). Исключение составляют т. н. пассиметры — нутромеры с трёхконтактной схемой, которые имеют 2 неподвижных и 1 подвижный наконечники; пределы измерений 19—120 мм. Предварительная настройка таких нутромеров производится по установочным кольцам.



**Рис. 1. Микрометрический нутромер:**

1 — микрометрическая головка; 2 — измерительный наконечник; 3 — установочная скоба.



**Рис. 2. Шариковый индикаторный нутромер для измерения малых отверстий:**  
1 — деталь; 2 — упор; 3 — измерительная вставка; 4 — отсчётное устройство; 5 — закрепительный винт; 6 — игла; 7 — измерительный шарик.

### **Погрешности измерений и средств измерений**

**Погрешности измерений**, ошибки измерений, отклонения результатов измерений от истинных значений измеряемых величин. **Различают систематические, случайные и грубые** погрешности измерений (последний вид погрешности измерений часто называют промахами). Систематические погрешности измерений обусловлены главным образом погрешностями средств измерений и несовершенством методов измерений, случайные — рядом неконтролируемых обстоятельств (незначительными изменениями условий измерений и т. и.); промахи — неисправностью средств измерений, неправильным отсчитыванием показаний, резкими изменениями условий измерений и т.д. При обработке результатов измерений промахи обычно отбрасывают; влияние систематических погрешностей стремятся уменьшить внесением поправок или умножением показаний приборов на поправочные множители; оценки случайных погрешности измерений осуществляют методами математической статистики.

**Погрешности средств измерений**, отклонения метрологических свойств или параметров средств измерений от номинальных, влияющие на погрешности результатов измерений, получаемых при помощи этих средств. Составляющие этих погрешностей, зависящие от погрешности средств измерений, называются инструментальными погрешностями (инструментальными ошибками). Погрешности средств измерений выражают в форме абсолютных, относительных или приведённых погрешностей (т. е. соответственно в единицах измеряемой величины, в долях или процентах от неё либо в процентах от верхнего предела измерений, диапазона измерений или длины шкалы).

Погрешности средств измерений, имеющие место при нормальных условиях применения средств измерений, называют основными; погрешности, вызванные отклонением значений влияющих величин (температуры, частоты электрического тока и т.п.) от принятых за нормальные, — дополнительными. Для каждого типа средств измерений устанавливаются пределы допускаемых погрешностей, определяющие классы точности средств измерений. При измерениях постоянных величин, когда используются установившиеся показания средств измерений, на результаты влияют только статические погрешности средств измерений. При измерениях изменяющихся величин к статическим добавляются динамические погрешности средств измерений и общая погрешность возрастает.

**По своему характеру погрешности средств измерений бывают систематические, т. е. сохраняющиеся постоянными или закономерно изменяющиеся, и случайные, т. е. изменяющиеся случайным образом.** Так, неправильно нанесённые отметки на шкале прибора или неточная подгонка мер (например, гирь) вызывают систематические погрешности; трение подвижных частей прибора — случайные. Систематические погрешности средств измерений можно исключать введением поправок или умножением показаний на поправочные множители.

### **Зубоизмерительные приборы**

**Зубоизмерительные приборы**, средства измерения зубчатых передач. К этой группе иногда относят средства измерения зуборезного инструмента и средства, устанавливаемые на зубообрабатывающих станках.

З. п. измеряют цилиндрические колёса (прямозубые и косозубые, с наружным и внутренним зацеплением), конические колёса, червяки и червячные фрезы. Особую группу составляют З. п. для мелко-модульных колёс (с модулем менее 1 мм). Приборы,

служащие для контроля цилиндрических колёс внешнего зацепления, часто снабжаются приспособлениями для контроля др. колёс или элементов зацепления, зуборезного инструмента и т.д. З. п. можно выявлять определённые эксплуатационные свойства колёс: кинематическую точность, плавность работы, полноту контакта и боковой зазор. Универсальными приборами можно проверять несколько параметров колеса (*рис. 1*) или один параметр в определённом диапазоне размеров без специальных настроечных приспособлений (например, универсальный эвольвентомер).

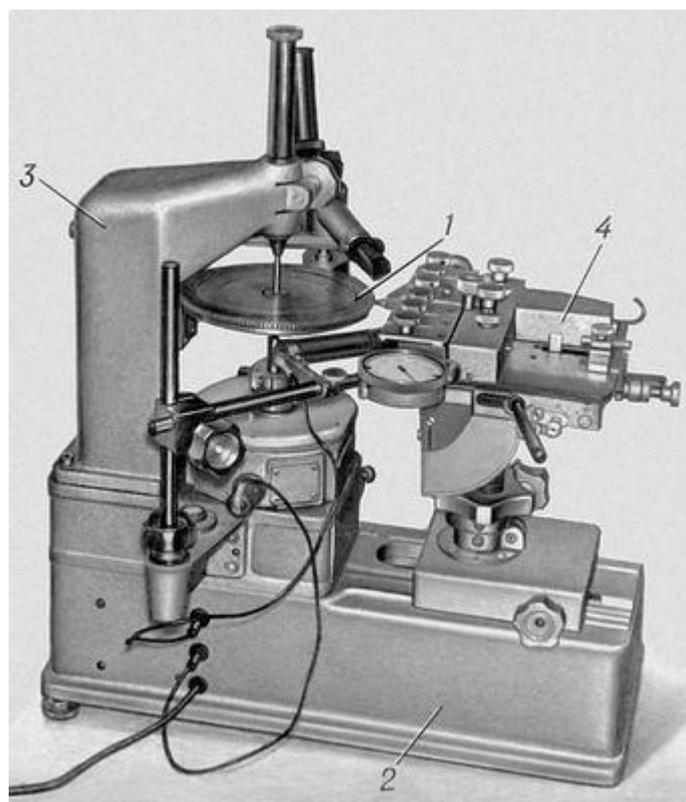
З. п. могут быть станковыми (см. *рис. 1*), когда контролируемое колесо устанавливается на прибор; накладными (*рис. 2*), когда прибор накладывают при измерении на колесо: приставными, когда устанавливают колесо и прибор от одной базы на контрольной плите или на станке. Наиболее распространённые станковые приборы бывают 4 типоразмеров, определяемых диаметром делительной окружности контролируемых зубчатых колёс: 5—120; 20—320; 200—800; 500—1250 мм. З. п. используют для приёмочного (окончательного) и технологического контроля. При приёмочном контроле З. п. оценивают параметры, характеризующие точность зубчатого колеса как элемента будущей передачи. Такие приборы служат для комплексного метода контроля, при котором выявляются погрешности комплекса взаимосвязанных элементов колеса, например при зацеплении его с измерительным колесом, погрешностью которого пренебрегают. При технологическом контроле З. п. определяют отдельные параметры зубчатых колёс (шаг, профиль и т.д.), однозначно связанные с каким-либо элементом технологического процесса обработки (например, инструмента, станка и т.д.). В практике приборы для технологического контроля часто используются и в качестве приёмочных.

З. п. для цилиндрических колёс с модулем более 1 мм предназначаются для контроля следующих показателей:

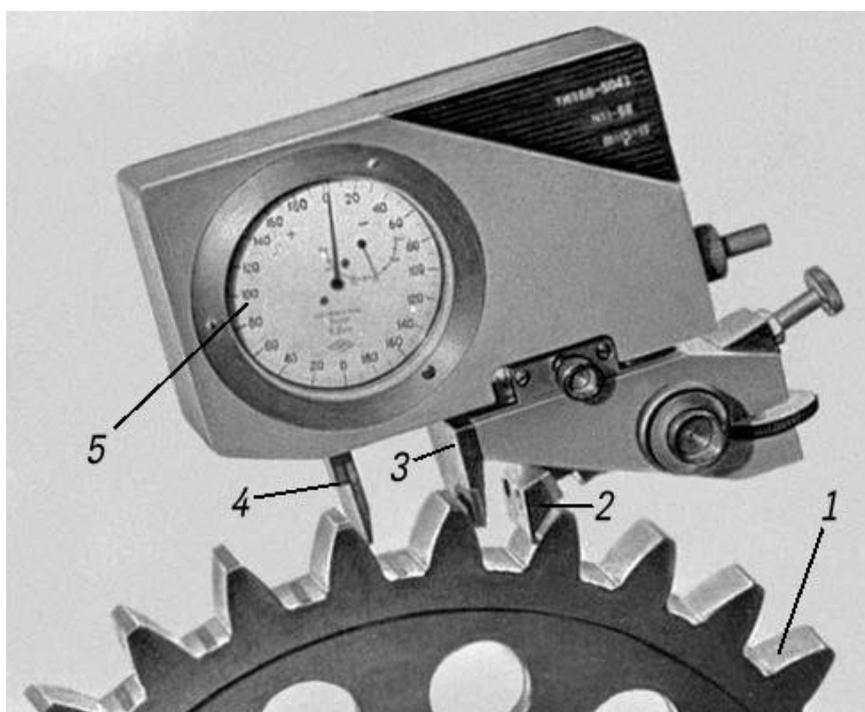
- кинематической погрешности, накопленной погрешности и разности окружных шагов; радиального биения зубчатого венца (биениемер);
- межцентрового расстояния (межцентромер);
- волнистости поверхности (волномер);
- шага зацепления (шагомер);
- формы и расположения контактной линии (контактомер);
- направления зуба (ходомер); профиля (эвольвентомер), толщины зуба (зубомер), длины общей нормали (нормалемер);
- положения исходного контура.

Разнообразие З. п. объясняется сложностью геометрической формы зубчатых колёс, многообразием способов их обработки, а также возможностью выявлять одни и те же эксплуатационные свойства колеса контролем разных его параметров. Конкретные параметры, которые необходимо проверять, устанавливаются заводскими или отраслевыми техническими документами на изготовление зубчатых передач, а также рекомендациями по стандартизации РС 373—65 «Приборы для контроля цилиндрических зубчатых колёс».

Перспективной является система единой оценки эксплуатационного качества зубчатых колёс, которая предполагает совершенствование приборов для контроля кинематической погрешности, т. е. приборов для комплексного однопрофильного контроля. Результаты такого контроля представляют сложную периодическую функцию, которую можно подвергать гармоническому анализу, например с помощью ЭВМ. Развитие таких способов обработки результата измерений позволяет в значит. мере отказаться от нормирования всех элементов зубчатого колеса, что ведёт к сокращению числа приборов. Такой вид контроля наиболее полно характеризует эксплуатационные свойства проверяемого колеса и позволяет проводить анализ погрешностей технологического процесса.



**Рис. 1. Отечественный универсальный зубоизмерительный прибор для контроля зубчатых колёс с модулем зацепления  $m=0,3—1,25$  мм, диаметром 10—160 мм:**  
 1 — контролируемое колесо; 2 — корпус; 3 — кронштейн с установочными центрами; 4 — измерительное устройство.



**Рис. 2. Отечественный накладной шагомер для контроля шага зацепления цилиндрических зубчатых колёс с модулем зацепления  $m=1,5—10$  мм:**  
 1 — контролируемое колесо; 2, 3 и 4 — измерительные наконечники; 5 — двухстороннее отсчётное устройство

## Резьбоизмерительные инструменты

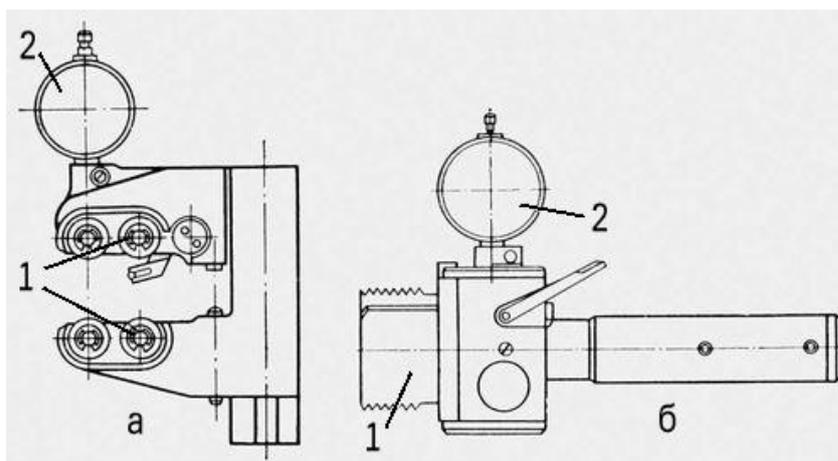
**Резьбоизмерительные инструменты**, резьбоизмерительные приборы, средства измерения и контроля резьбы. Различают Р. и. для комплексного контроля и для измерения отдельных параметров; наружной и внутренней резьб; цилиндрической и конической резьб; ходовых винтов и т. п. Наибольшим разнообразием отличаются Р. и. для измерения наружных резьб. Внутренние резьбы обычно измеряют по слепкам.

К средствам комплексного контроля, используемым при приёмке готовых деталей, относятся проходные и непроходные калибры, с помощью которых определяют, находятся ли в допусковых пределах размеры сопрягаемых винтовых поверхностей (болт и гайка) на длине свинчивания. Проходным калибром, который должен при проверке свинчиваться, контролируют т. н. приведённый средний диаметр (искусственно созданный контрольный параметр), обеспечивающий сопряжение резьбового соединения. Для комплексного контроля пользуются также индикаторными Р. и. с резьбовыми измерительными элементами (*рис. 1*).

Р. и., предназначенные для измерения отдельных параметров наружной резьбы — среднего диаметра, профиля и шага, используют при определении точности технологического процесса или для оценки эксплуатационных свойств специальных точных резьбовых деталей (ходовых винтов, винтов микрометров, резьбовых калибров и т. п.). Для измерения среднего диаметра применяют микрометры со вставками, имеющими резьбовой профиль. Один из способов определения среднего диаметра точной резьбы — измерение с помощью проволочек (роликов), которые закладывают между витками резьбы и каким-либо измерительным средством — оптиметром, микрометром и др. Определяют размер по высоте, на которую выступают проволочки над наружным диаметром резьбы. Пользуются также специальными приспособлениями с тремя, двумя или одной проволочкой, а при измерении среднего диаметра внутренней резьбы — нутромерами специальной конструкции или приборами со сменными сферическими наконечниками.

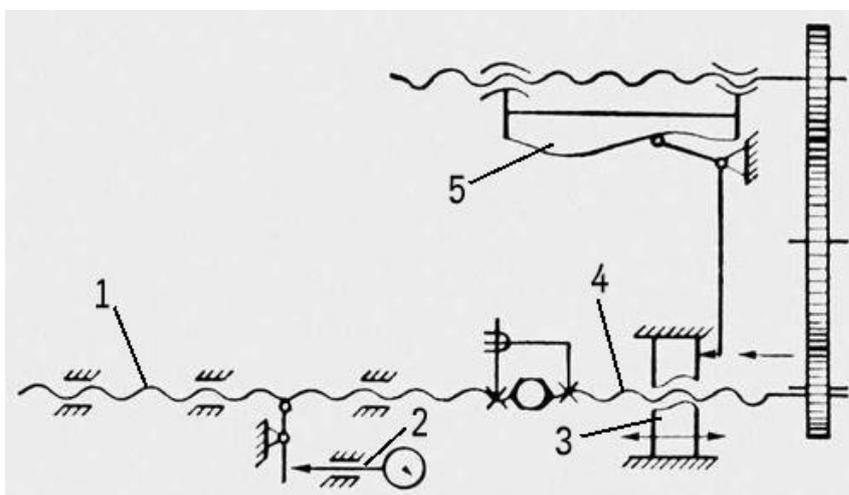
Измерение профиля резьбы в деталях с относительно крупным шагом (ходовые винты, червяки) производят приборами, измерительный узел которых разворачивается на угол профиля резьбы, и наконечник перемещается вдоль её боковой поверхности. Иногда для этой цели пользуются угломерами специальной конструкции. Шаг резьбы обычно определяют в осевом сечении на инструментальных и универсальных микроскопах и проекторах.

Для контроля точных резьбовых деталей (например, ходовых винтов) служат приборы, обеспечивающие непрерывное измерение шага винтовой линии при вращении детали. Измерение осуществляют методом сравнения реальной винтовой линии с теоретической винтовой линией, воспроизводимой на приборе с помощью образцового винта (*рис. 2*), или импульсных линейных и угловых датчиков, выдающих импульсы с частотой, пропорциональной линейным перемещениям винтовой поверхности за определённый угол поворота. При использовании импульсных датчиков обработку данных производят на ЭВМ, являющихся частью прибора.



**Рис. 1. Схемы индикаторных приборов для измерения наружной (а) и внутренней (б) резьб:**

1 — резьбовые измерительные элементы; 2 — отсчетное устройство.



**Рис. 2. Прибор для измерения резьбы ходовых винтов методом сравнения с образцовым винтом:**

1 - измеряемый винт; 2 - отсчетное или регистрирующее устройство; 3 - коррекционная линейка образцового винта; 4 - образцовый винт; 5 - гайка образцового винта

### **Контроль автоматический и активный в машиностроении**

**Контроль автоматический** в машиностроении, процесс контроля размеров деталей машин, при котором действия оператора полностью или частично заменены действиями механизмов измерительных устройств. Цель К. а. — сокращение времени, затрачиваемого на контроль, устранение субъективности оценки качества. Основная операции К. а.: загрузка деталей, установка их на контрольные позиции, контроль и разделение деталей на годные и бракованные. По степени автоматизации различают К. а., осуществляемый автоматами (процесс автоматизирован полностью), полуавтоматами (автоматизирована одна или несколько операций), контрольными приспособлениями. К. а. применяют для измерения одного параметра и одновременной или последовательной проверки нескольких параметров одной детали. Иногда к К. а. относят контроль активный. По назначению (в зависимости от числа групп деталей после контроля) различают две группы К. а. К первой группе относят К. а., при котором в пределах допуска выделяется только

одна группа годных деталей, остальные детали (одна или две группы) — бракованные. Из бракованных выделяют детали, которые можно исправить (например, диаметр вала больше допустимого) и которые нельзя исправить (например, диаметр вала меньше допустимого). Такой контроль обычно осуществляют на контрольных автоматах или полуавтоматах, основное назначение которых — приёмка готовой продукции вместо оператора-контролёра. Ко второй группе относят К. а., при котором в пределах допуска выделяют несколько групп годных деталей, используемых при селективной сборке машин. Для такого контроля предназначаются контрольные автоматы или полуавтоматы; их основное назначение — облегчение технологического процесса изготовления. К. а., при котором осуществляют только рассортировку деталей на годные и бракованные, часто называют пассивным в отличие от активного контроля, который влияет на изменение режимов обработки или определяет конец обработки.

**Контроль активный**, контроль деталей непосредственно в процессе обработки на станке или вне станка, дающий информацию о необходимости изменения режимов обработки или подналадки станка (изменение положения между инструментом и деталью). Название «активный» этот вид контроля получил по степени участия в технологическом процессе обработки. К. а. применяется главным образом при окончательной обработке деталей на шифовальных, хонинговальных станках. Отдельно выделяется подналадочный К. а., при котором измерительная информация, основанная на результатах измерения окончательно обработанной детали или группы деталей вне станка, используется для автоматической подналадки или остановки станка. Устройства для подналадочного К. а. иногда выполняют функции контрольных автоматов.

К. а. может осуществляться методом косвенных измерений, когда контролируется положение элементов станка (шлифовального круга, суппорта и т. д.), определяющих размер детали, и чаще методом прямых измерений, когда контролируют непосредственно деталь.

К. а. может быть ручным, при котором рабочий управляет режимами и остановкой станка при наблюдении за показаниями прибора, измеряющего детали в процессе обработки, или автоматическим, когда управление станком осуществляется с помощью команд, выдаваемых установленным на станке или вне станка прибором.

Приборы К. а. разделяют на командные, сигнал которых поступает в систему автоматического управления станком (*рис. 1*), показывающие (*рис. 2*), сигнальные и сигнально-показывающие, которые позволяют оператору использовать информацию прибора для ручного управления станком. Командные приборы могут иметь отсчётные или сигнальные устройства.

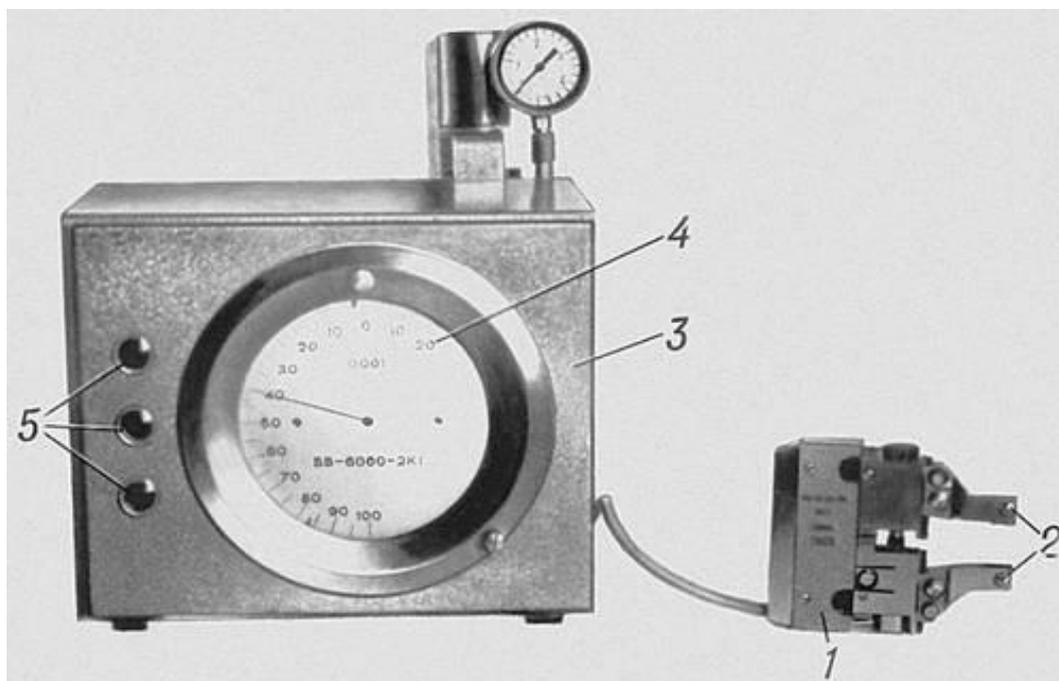
По способу установки измерительных элементов на станке приборы К. а. разделяются на приборы с навесной скобой (см. *рис. 2*), которые обычно устанавливаются на деталь и снимаются с неё оператором, и с настольной скобой (см. *рис. 1*), которые устанавливаются на детали и снимаются с неё автоматически. По принципу действия приборы К. а. могут быть механические (например, с использованием индикатора часового типа), пневматические, индуктивными и ёмкостными. Наиболее распространены пневматические приборы. Настройку приборов производят по образцовой детали.

Особую группу приборов К. а. составляют приборы для сопряжённого шлифования (*рис. 3*), с помощью которых можно измерять вал в процессе его обработки и выключать станок, когда вал достигнет размера, обеспечивающего требуемый зазор или натяг с заранее обработанным отверстием (например, обработка шпинделя по отверстию в передней бабке станка). К. а. осуществляют главным образом в массовом и крупносерийном производстве. Иногда целесообразно применять К. а. при обработке небольших партий деталей (до 10 штук).

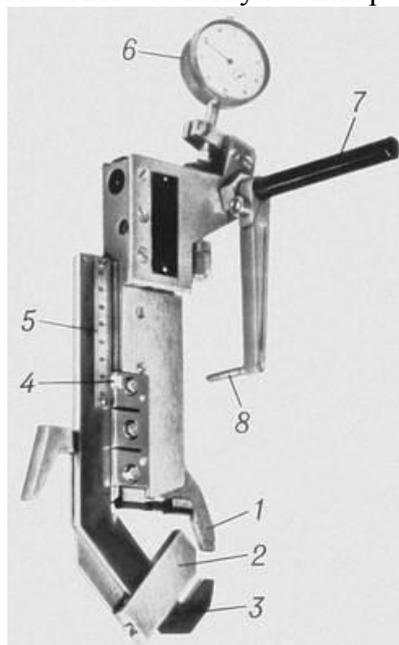
Применение К. а. позволяет повысить производительность труда, улучшить качество обработки, вести одновременное обслуживание нескольких станков, получать высокую

точность деталей, использовать на этих работах операторов относительно невысокой квалификации.

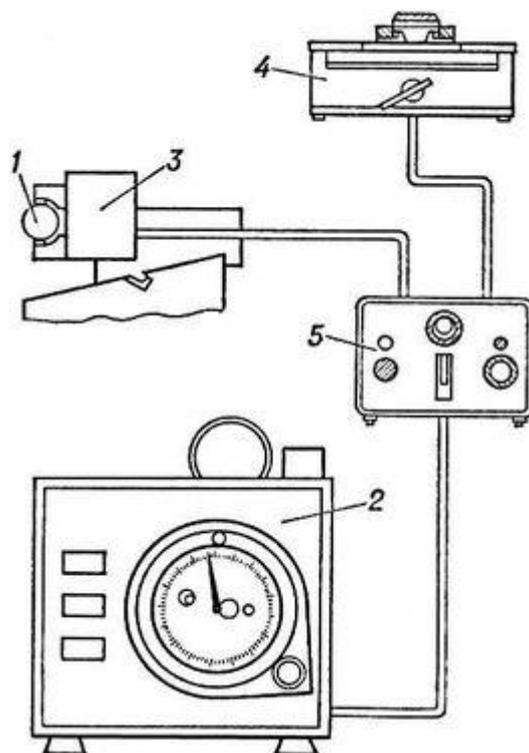
Перспективным является создание приборов К. а., работающих без настройки по образцовым деталям, с автоматической подналадкой уровня настройки, устанавливающих оптимальный режим производственного процесса, и расширение области применения К. а. на всех видах обрабатывающих станков.



**Рис. 1. Командный прибор активного контроля с настольной скобой:** 1 — скоба; 2 — измерительные наконечники; 3 — отсчётно-командное устройство; 4 — шкала отсчётного устройства; 5 — сигнальные лампы указания режимов работы.



**Рис. 2. Показывающий прибор активного контроля с навесной скобой:** 1, 3 — регулируемые контакты; 2 — контролируемая деталь; 4 — указатель; 5 — шкала для предварительной настройки на размер; 6 — индикатор; 7 — кронштейн; 8 — ограничитель.



**Рис. 3. Схема прибора активного контроля для сопряженного шлифования:**

1 — обрабатываемая деталь; 2 — отсчётно-командное устройство; 3 — скоба для измерения диаметра вала в процессе обработки; 4 — измерительное устройство для определения диаметра отверстия, под которое обрабатывается вал; 5 — переключатель для подключения в отсчётно-командное устройство скобы (3) и измерительного устройства или совместного их включения.

Наибольшее распространение имеет К. а. второй группы, т. к. он позволяет упростить процесс изготовления деталей и удешевить производство. Это достигается изготовлением деталей по расширенным допускам, а точное сопряжение деталей при сборке обеспечивают соединением деталей из соответствующих размерных групп. Такой К. а. характерен для массового производства, когда оказывается экономически нецелесообразным изготавливать детали с малыми допусками (подшипниковая, автотракторная и некоторые др. отрасли промышленности). К. а. первой группы распространён меньше, т. к. предусматривает проверку всех изделий, что часто является экономически нецелесообразным и технически необоснованным. Однако этот вид К. а. эффективен в некоторых случаях, например при неустойчивом технологическом процессе, который практически не поддаётся регулированию, поэтому возможно появление брака в любой момент обработки, и в др. случаях.

К. а. осуществляется различными контрольно-измерительными средствами, выбор которых определяется номенклатурой проверяемых изделий и требованиями технологии. Экономическая эффективность К. а. зависит от конкретных условий производства. При стабильном и хорошо налаженном технологическом процессе требуется только выборочный контроль изделий через заданный промежуток времени или после изготовления партии деталей. Наиболее эффективно при К. а. применение приборов активного контроля, средств измерений, которые могут работать со счётно-решающими устройствами, выдающими усреднённые показатели состояния технологического

процесса за определённый промежуток времени, а также измерительных устройств с периодической самопроверкой и корректировкой точности.

Одним из основных направлений в развитии К.-и. с. является создание мер и приборов, предназначенных для использования их непосредственно на рабочих местах. Большое значение придаётся при этом разработке узкоспециализированных К.-и. с. повышенной износостойкости и точности, например, контактные части некоторых К.-и. с. оснащают пластинками из твёрдых сплавов и алмаза, приборы с электрическими преобразовательными устройствами имеют отсчётные системы с ценой деления 1 мкм и менее. Наиболее перспективно создание К.-и. с., непосредственно участвующих в технологическом процессе обработки, приборов для контроля параметров, которые должны быть устойчивыми в процессе изготовления деталей (например, прибор для контроля шероховатости поверхности — профилометр), приборов для контроля некруглости детали — круглмеров, приборов для измерения кинематической погрешности зубообрабатывающих станков и т. д. Показания таких приборов записываются обычно в виде диаграмм или в цифровой форме. Широкое распространение получают приборы для предварительной размерной настройки положения режущего инструмента для станков с программным управлением. Такие приборы позволяют поддерживать заданную точность обработки и значительно сокращают простой оборудования. Ускорить процесс получения результатов и уменьшить погрешность измерений позволяет использование К.-и. с. совместно с ЭВМ.

### **Сборка машин и ее виды.**

**Сборка машин**, соединение в определённой последовательности и закрепление деталей, подузлов и узлов для получения машины, удовлетворяющей её назначению. Узлом называют разъёмное или неразъёмное соединение составных частей изделия. Характерным признаком узла является возможность его сборки обособленно от других элементов изделия. Соединение двух и более деталей, входящее в узел, называют подузлом. Различают подузлы 1-го, 2-го и др. более высоких порядков. Подузел наивысшего порядка расчленяется только на детали. Базовым называют основной элемент (деталь или узел), с которого начинается сборка. Трудоемкость сборки в машиностроении составляет 25—35% от общей трудоемкости изделия; при большом объёме пригоночных работ (единичное производство и мелкосерийное производство) она достигает 40—45%.

**В машиностроении сборка расчленяется на общую и узловую.** Технологическая схема общей сборки изделия показана на *рис. 1*. Каждый элемент изделия условно обозначен на схеме прямоугольником, разделённым на три части. В верхней части указывают наименование элемента, в левой нижней части — его индекс, в правой нижней части — количество данных элементов в изделии. Индексы элементов соответствуют номерам деталей и узлов на чертежах и в спецификациях. На *рис. 2* дана технологическая схема узловой сборки изделия, общая сборка которого показана на *рис. 1*. Узловая сборка позволяет осуществлять параллельную сборку узлов изделия, значительно сокращает длительность цикла С. м.

**Технологические схемы сборки** отражают структуру и последовательность (маршрут) сборки изделия и его узлов: при их составлении устанавливают также необходимые контрольные и вспомогательные операции. Эти схемы дают представление о технологичности конструкции изделия в отношении его сборки. Конструкция изделия предопределяет методы сборки. При проектировании технологического процесса сборки определяют темп (ритм, такт) общей и узловой сборки, деля годовой фонд рабочего времени в *мин* на годовую программу выпуска изделий (узлов) в штуках. Если темп значительно превосходит среднюю продолжительность характерных сборочных операций, то сборку ведут по принципам серийного производства. В этом случае на одном рабочем месте периодически (партиями, сериями) собираются различные изделия или узлы. Если

температура близка к средней продолжительности характерных сборочных операций или меньше её, то сборку ведут по принципам массового производства, закрепляя за каждым рабочим местом определённую сборочную операцию. При малом темпе сборки дифференцируют, разделяя операции. Если это по технологическим соображениям затруднительно или невозможно, то операции выполняют параллельно, дублируя рабочие места. Содержание операций сборки должно быть таким, чтобы на каждом рабочем месте выполнялась по возможности однородная и технологически законченная работа. Это способствует лучшей специализации сборщиков и повышению производительности, их труда.

**Технологические процессы сборки могут быть типовые, групповые и индивидуальные.** Типовые процессы создаются для различных групп соединений и узлов на базе обобщения опыта прогрессивных методов сборки в масштабе отрасли машиностроения. Особенностью групповых процессов является их применимость для сборки нескольких изделий (узлов), характеризующихся однородностью конструктивно-технологических признаков. Индивидуальные процессы разрабатываются для сборки одного конкретного изделия.

При построении маршрута и операций сборки выявляются её организационные формы. **Сборка может быть поточной и не поточной.** Перемещение собираемого объекта от одного рабочего места к другому при поточной сборке осуществляется вручную (по верстаку, рольгангу, на тележках), грузоподъёмными машинами (кранами, тельферами и др.), периодически движущимся конвейером — пластинчатым конвейером, тележками, ведомыми по рельсовому пути замкнутой цепью, а также непрерывно движущимся конвейером.

**Поточная сборка** при неподвижном объекте осуществляется на расположенных в линию неподвижных стендах. Каждый сборщик (бригада сборщиков) выполняет свою операцию, переходя последовательно от одного стенда к другому. Такую сборку целесообразно применять в серийном производстве при значительном темпе, в особенности для сборки тяжёлых машин, перемещение которых затруднительно. При поточной сборке должно быть обеспечено бесперебойное, увязанное с темпом сборки снабжение сборочной линии взаимозаменяемыми деталями и узлами: слесарно-пригоночные работы могут быть допущены лишь в том случае, если они увязаны с темпом сборки. Если требуется высокая точность, то сопрягаемые детали подбирают друг к другу (селективная сборка) или производится их индивидуальная пригонка. В этом случае сопрягаемые детали поступают на сборку спаренными. Поточная сборка сокращает цикл производства и межоперационные заделы деталей, повышает специализацию сборщиков, увеличивает возможности механизации и автоматизации производства и уменьшает трудоёмкость изделий. Механизация сборки направлена на частичную или полную замену ручного труда оператора машинным путём оснащения рабочих мест электрическим, пневматическим или гидравлическим инструментом и приспособлениями. Автоматизация имеет целью передачу сборочным машинам и их комплексам функции управления процессами сборки. Механизация и автоматизация процессов может быть единичной и комплексной.

**Не поточная сборка** применяется в единичном и мелкосерийном производстве.

При проектировании технологического процесса сборки устанавливают объекты, методы и средства технического контроля для определения соответствия точности формы и размеров, относительного положения и движения элементов изделия заданным техническим условиям. Проверке подвергаются: взаимное положение элементов изделия, качество выполненных соединений (сила и момент затяжки резьбовых соединений, качество пригонки стыкуемых поверхностей и др.), правильность постановки и наличие деталей в соединениях, масса узлов и изделия в целом, уравновешенность вращающихся частей изделия и т. п.. Контроль делят на промежуточный и приёмочный. Промежуточный контроль производят после выполнения сложных операций сборки и тех, где наиболее вероятен брак. При приёмочном контроле проверке подвергаются все собранные изделия

и наиболее ответственные узлы. Технологические процессы узловой и общей сборки фиксируют в технологической документации.

Основные направления повышения производительности сборки — механизация и автоматизация, устранение пригоночных работ, уменьшение количества наименований деталей и узлов машины, нормализация и унификация крепёжных и некоторых др. деталей изделия, уменьшение количества многозвенных размерных цепей.

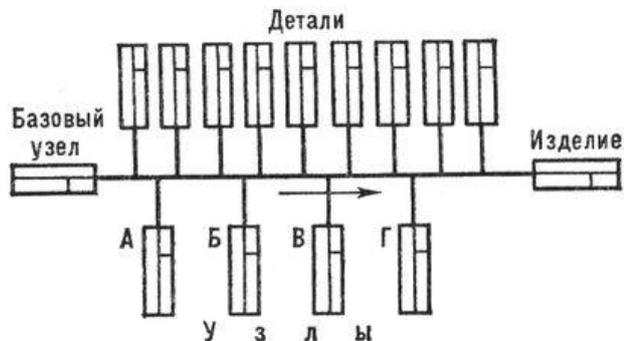


Рис. 1. Технологическая схема общей сборки машин.

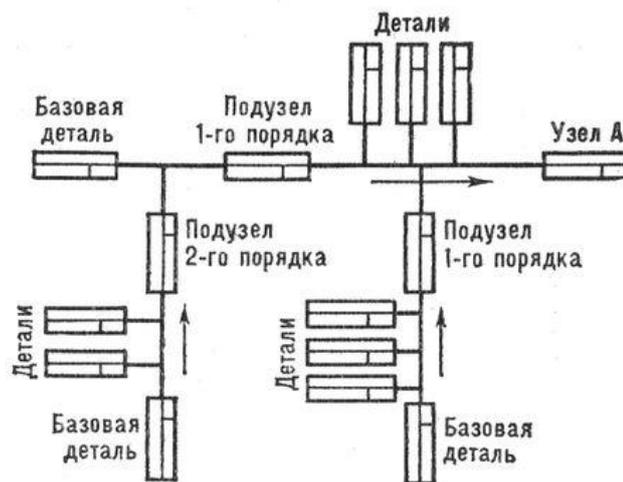


Рис. 2. Технологическая схема узловой сборки машин.