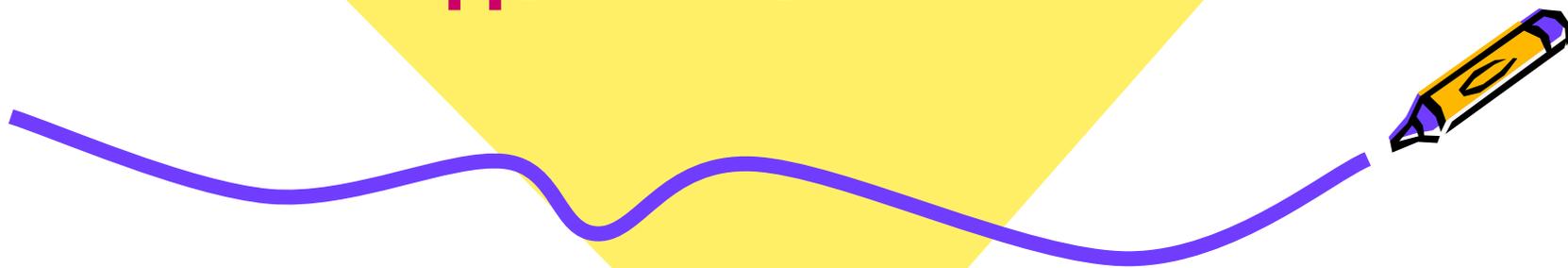


Лекция

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ



Средство измерений (СИ) это техническое средство (или их комплекс) используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики

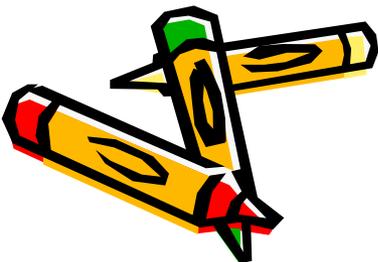
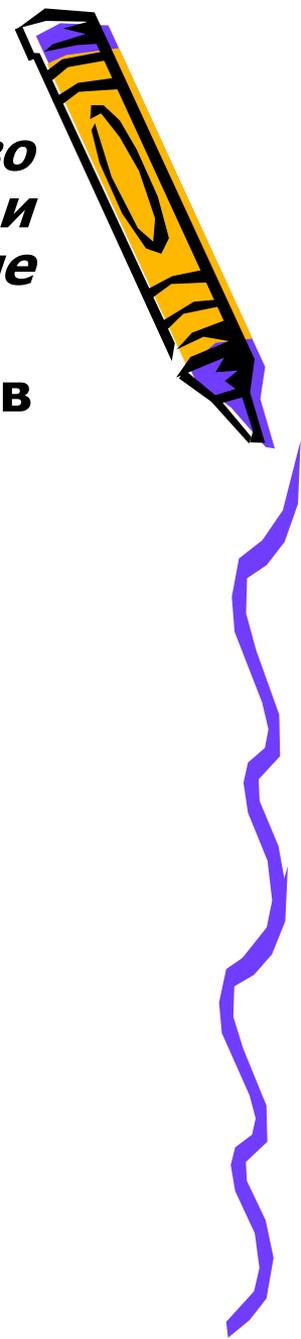
СИ (за исключением некоторых мер-гирь, линеек) в простейшем случае производят две операции:

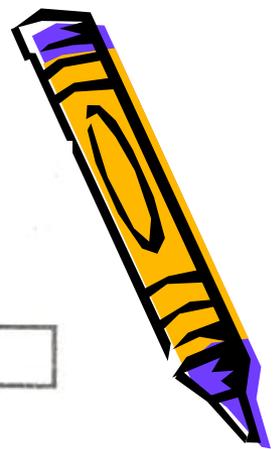
- ❖ обнаружение ФВ;
- ❖ сравнение неизвестного размера с известным или сравнение откликов на воздействие известного и неизвестного размеров

Кроме этого, СИ «умеют» хранить или воспроизводить единицу ФВ причем хранимые единицы являются неизменными.

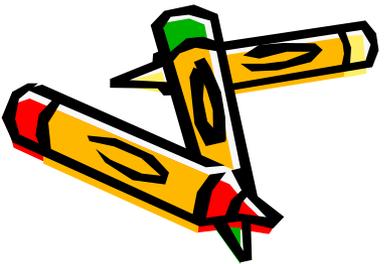
СИ классифицируют по следующим признакам:

- 1) конструктивное исполнение;
- 2) метрологическое назначение





СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ



По конструктивному исполнению СИ подразделяют на

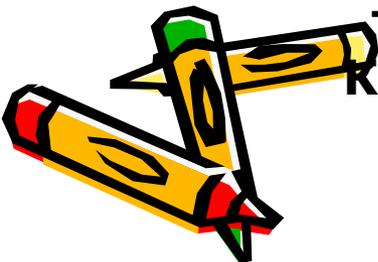
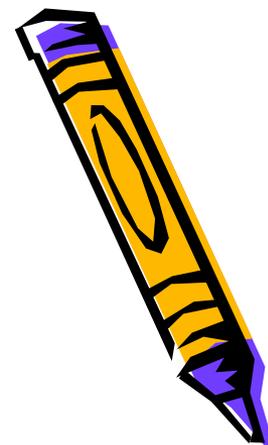
- Меры,
- Измерительные преобразователи,
- Измерительные приборы,
- Измерительные установки,
- Измерительные системы.
- Измерительно-вычислительные комплексы

Меры величины-СИ, предназначенные для воспроизведения и или хранения ФВ одного или нескольких заданных размеров.

Они бывают:

- ❖ Однозначные (гиря 1 кг.);
- ❖ Многозначные (масштабная линейка) ;
- ❖ Наборы мер (набор гирь , калибров)

Наборы мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях, называется **магазином мер**, Например, магазин электрических соединений. Кроме этого различают **установочные, встроенные и ввозимые меры**. Сравнение с мерой выполняют с помощью специальных технических средств-компараторов (рычажные весы). К однозначным мерам относят **стандартные образцы (СО)**.



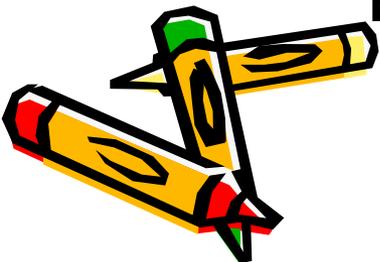
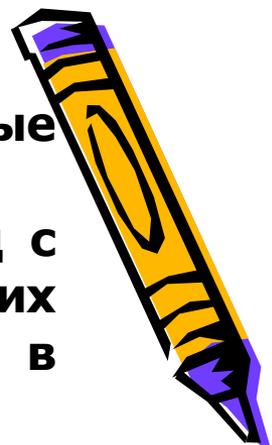
Существуют стандартные образцы состава и стандартные образцы свойств

СО состава вещества (материала) - стандартный образец с установленными значениями величин, характеризующих содержание отдельных компонентов в веществе(материале).

СО свойств веществ (материалов) - стандартный образец с установленными значениями величин, характеризующих физические, химические, биологические и др. свойства.

Новые **СО** допускаются к использованию при условии прохождения ими метрологической аттестации. Метрологическая аттестация проводится органами метрологической службы.

Примером **СО** состава является **СО** состава углеродистой стали определенной марки. Примером **СО** свойств является шкала **МООСА**, которая представляет собой набор 10 эталонных минералов для определения числа твердости по условной шкале. Каждый последующий минерал этой шкалы является более твердым, чем предыдущий.



В зависимости от уровня признания и сферы применения различают категории СО – межгосударственные, государственные, отраслевые и СО предприятия (организации)

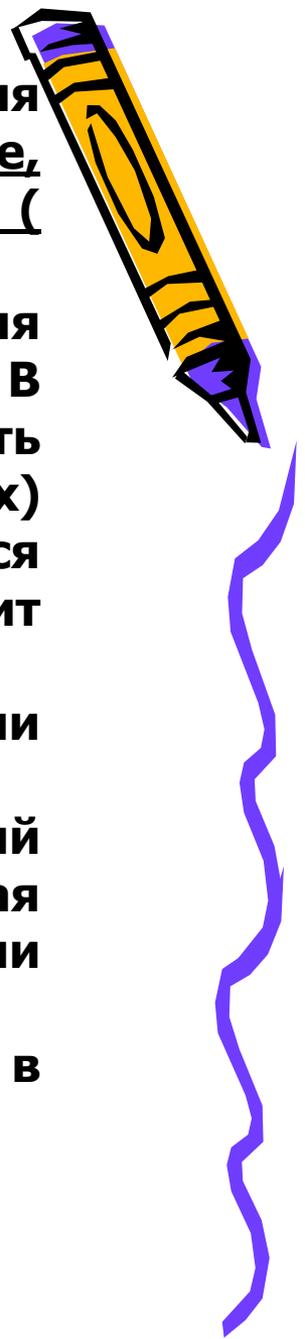
Измерительный преобразователь (ИП) предназначен для выполнения одного измерительного преобразования. В подавляющем большинстве случаев стремятся иметь линейную функцию преобразования. Функция $y(x)$ идеального ИП при отсутствии помех описывается уравнением $y=k \cdot x$. Она линейна, стабильна и проходит через начало координат.

По местоположению в измерительной цепи преобразователи делятся на первичные и промежуточные.

Первичный преобразователь- это такой ИП, на который непосредственно воздействует измеряемая физическая величина. Он является первым в измерительной цепи средством измерения.

Промежуточные преобразователи располагаются в измерительной цепи после первичного. Часто,

конструктивно обособленные первичные ИП называют **датчиками**.



По характеру преобразования входной величины ИП делятся на линейные и нелинейные.

Линейный преобразователь - это ИП, имеющий линейную связь между входной и выходной величинами. Их важной разновидностью является **масштабный ИП**, предназначенный для изменения размера величины или измерительного сигнала в заданное число раз. Его уравнение преобразования имеет вид $y=k \cdot x$, где x , y - однородные входная и выходная величины; k - постоянный коэффициент передачи. Примерами масштабных преобразователей могут служить усилители, делители напряжения, измерительные трансформаторы напряжения.

У **нелинейных ИП** связь между входными и выходными величинами нелинейная. По виду входных и выходных величин ИП делятся на:

Аналоговые, преобразующие одну аналоговую величину в другую в другую аналоговую величину;

Аналого-цифровые (АЦП), предназначенные для преобразования аналогового измерительного сигнала в цифровой код;

Цифроаналоговые (ЦАП), предназначенные для преобразования цифрового кода в аналоговую величину.



Комплексные средства измерения

Предназначены для реализации всей процедуры измерения.

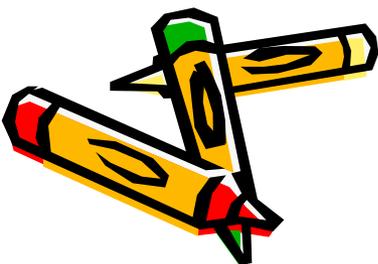
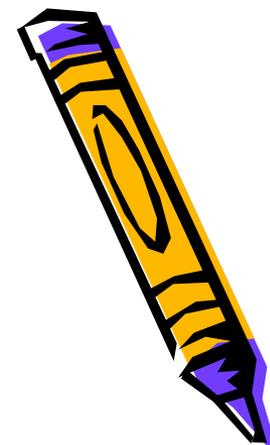
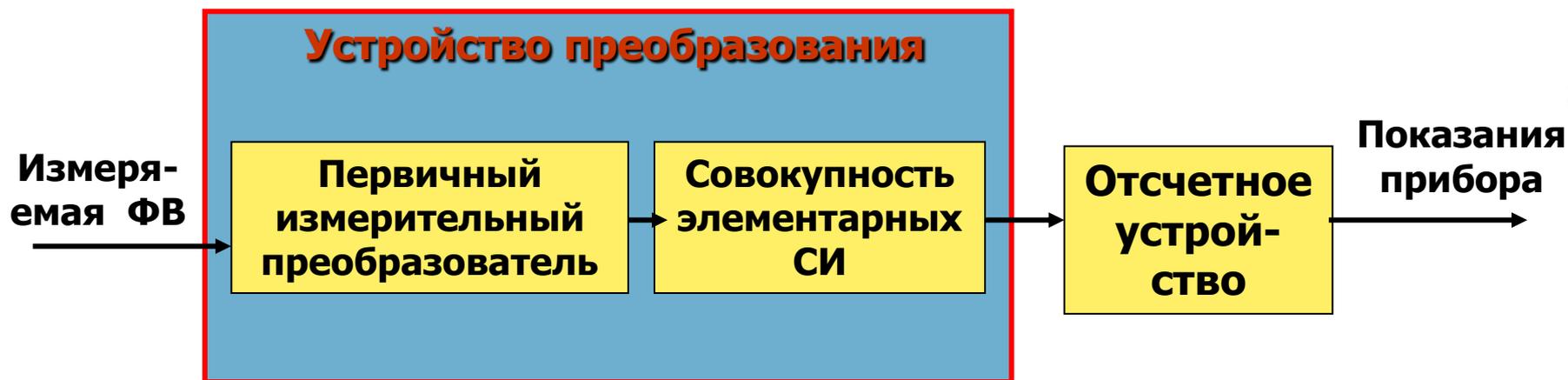
Измерительные приборы и установки

Измерительный прибор - средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне ее измерения и выработки сигнала измерительной информации, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Данный класс средств измерений включает большое число приборов, различающихся измеряемыми величинами, областью применения, техническими характеристиками, принципом действия, используемой элементной базой и другими особенностями. Тем не менее все эти приборы имеют некоторые общие черты.



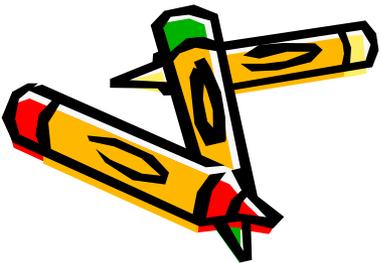
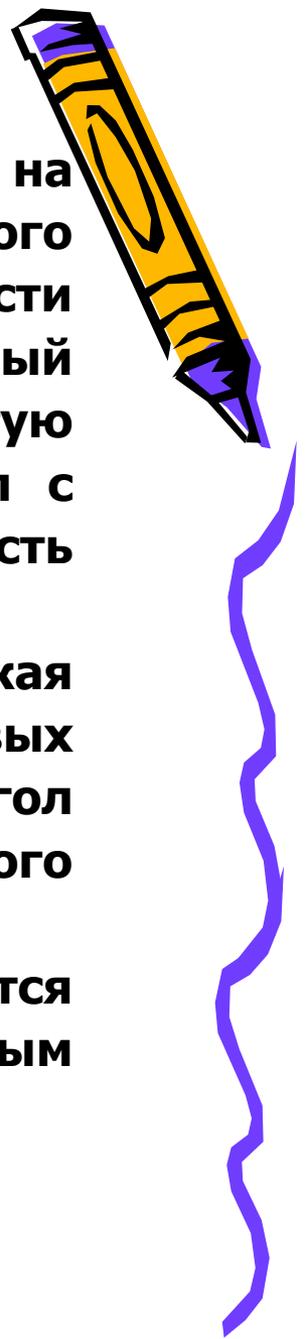
ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА



Измеряемая физическая величина воздействует на устройство преобразования, состоящее из первичного измерительного преобразователя и совокупности элементарных средств измерения. Первичный преобразователь преобразует измеряемую ФВ в другую величину, однородную или неоднородную с ней. Сигнал с выхода преобразователя проходит через совокупность элементарных СИ.

В простейших измерительных приборах такая совокупность может отсутствовать. Например, в аналоговых вольтметрах измеряемое напряжение преобразуется в угол поворота стрелки с помощью первичного электромеханического ИП.

На выходе устройства преобразования формируется сигнал, параметры которого соответствуют входным характеристикам отсчетного устройства.



Отсчетное устройство - это элемент СИ, преобразующий измерительный сигнал в форму, доступную восприятию органами чувств человека.

По форме представления показаний отсчетные устройства делятся на ***аналоговые*** и ***цифровые***

Составными частями отсчетного устройства являются шкала и указатель.

Шкала - это часть отсчетного средства, представляющая собой ряд отметок, соответствующих последовательному ряду значений величины вместе со связанной с ними нумерацией.

Шкала наносится на прямолинейном участке или дуге окружности.

Отметка шкалы - это знак на шкале СИ (черточка, зубец, точка и т. д.), соответствующий некоторому значению ФВ.

Промежуток между двумя соседними отметками шкалы средства измерений называется делением шкалы.

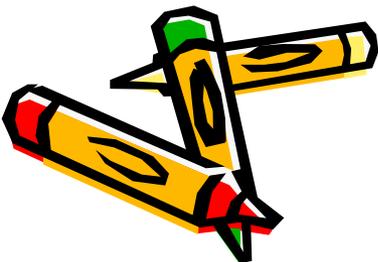
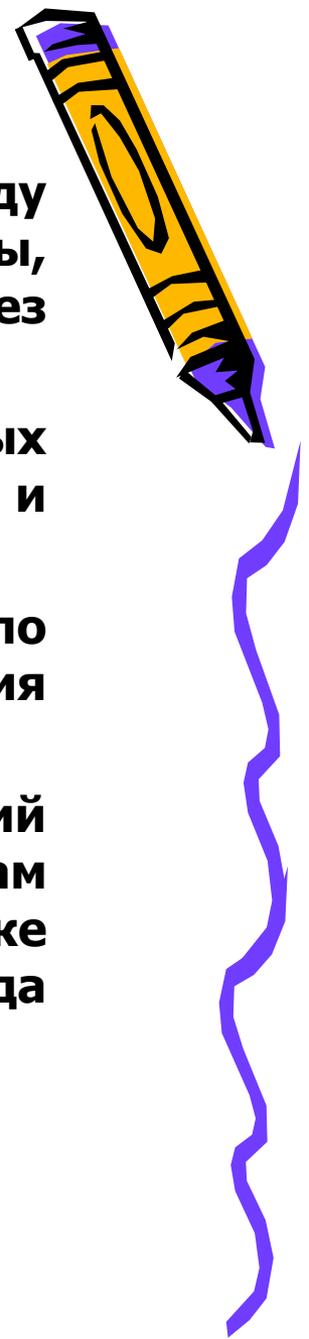


Длиной деления шкалы называется расстояние между осями или центрами двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы.

Длина линии, проходящей через центры всех самых коротких отметок шкалы СИ и ограниченная начальной и конечной отметками, называется, **длиной шкалы**.

Отметка шкалы СИ, у которого проставлено число отсчета, называется числовой отметкой шкалы. Деления шкалы имеют **цену**.

Цена деления шкалы - это разность значений величины, соответствующая двум соседним отметкам шкалы СИ. Отметки наносятся на шкалу при градуировке прибора, т.е. при подаче на его вход сигнала с выхода образцовой многозначной меры.

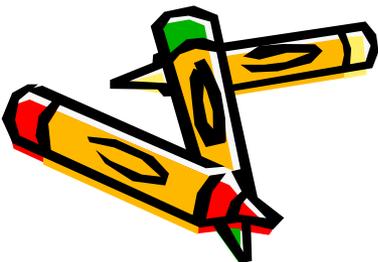
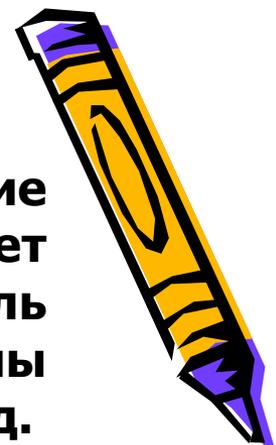


Указатель - часть отсчетного устройства, положение которого относительно отметок шкалы определяет показания измерительного прибора. Указатель выполняется в виде подвижных стрелок разной формы (клиновидной, ножевидной и др.), луча света, самописца и т.д.

Шкала СИ имеет **начальное** и **конечное** значения. Они соответствуют наибольшему и наименьшему значениям измеряемой величины, которые могут быть отсчитаны по шкале СИ. Например, для медицинского термометра начальное значение шкалы равно $34,3$, а конечное - $42\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При измерении с показывающего устройства считывается показание.

Диапазоном показаний называется область значений шкалы СИ, ограниченная ее начальным и конечным делениями. Так для медицинского термометра диапазон показаний составляет $7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$



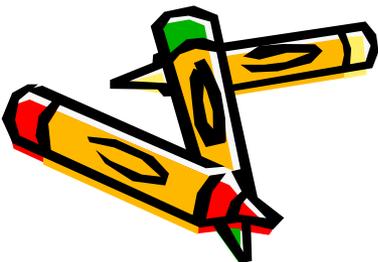
Диапазоном измерений называется область значений ФВ, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ.

Значения величины, ограничивающие диапазон снизу и сверху (слева и справа), называются соответственно **нижним** и **верхним пределами измерений**. Диапазон измерений всегда меньше или равен диапазону показаний.

Классификация измерительных приборов по форме индикации измеряемой величины различают измерительные приборы:

Показывающие, которые допускают только отсчитывание показаний измеряемой величины, например стрелочный или цифровой вольтметр;

Регистрирующие, предусматривающие регистрацию показаний на том или ином носителе информации, например на бумажной ленте. Различают самопишущие и печатающие приборы





По методу преобразования измеряемой величины различают приборы:

- ❖ прямого,
- ❖ компенсационного (уравновешивающего)
- ❖ смешанного преобразования.

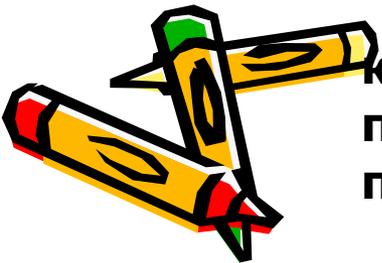
По назначению измерительные приборы делятся на:

амперметры, вольтметры, омметры, термометры, гигрометры и т. д.

По форме преобразования используемых измерительных сигналов приборы подразделяют на аналогые и цифровые.

Аналоговые приборы - это приборы, показания или входящий сигнал которых является непрерывной функцией изменения измеряемой величины. Уравнения приборов имеет вид $y=k \cdot x$, где x – измеряемая величина; y , k – показание и коэффициент преобразования прибора соответственно.

Цифровые приборы – это приборы принцип действия которых, основан на квантовании измеряемой или пропорциональной ей величины. Показания таких приборов представлены в цифровой форме.



Измерительная установка – это совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в удобной для непосредственного восприятия наблюдателем форме и расположенная в одном месте.

Измерительную установку, предназначенную для испытания каких либо изделий, называют **испытательным стендом** (например, для измерения удельного сопротивления электрических материалов).

Измерительную установку с включенными в нее эталонами применяемую для поверки СИ, называют **поверочной установкой** (например, установка для поверки вольтметров). Некоторые большие измерительные установки используемые главным образом в машиностроении, называют измерительными машинами (например, силоизмерительная машина).





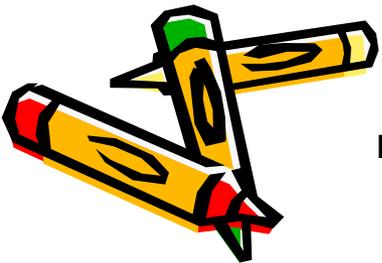
Измерительной Системой называется совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, ЭВМ и др. технических средств, размещенных в разных точках контролируемого пространства (объекта) с целью измерений одной или нескольких ФВ, свойственных этому пространству (объекту). примером может служить радионавигационная система для определения местоположения судов, состоящая из ряда измерительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительном расстоянии друг от друга.

Все *средства измерений* делятся на универсальные средства и средства специального назначения

Универсальным, называется средство измерений предназначенное для измерения длин, углов в определенном диапазоне размеров изделий с разнообразной конфигурацией.

Например, один и тот же прибор с дополнительными приспособлениями (стойки, штативы и т.д.) может быть использован для измерения различных размеров.

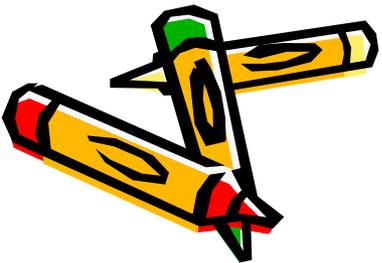
Специальным называется средство измерений, предназначенное для измерений специальных элементов у деталей определенной формы (например, калибры, приборы для измерения углов, параметров зубчатых колес и т. д.) или специальных параметров у деталей вне зависимости от ее геометрической формы (приборы для измерения шероховатости, отклонений формы и т.д.).



Универсальные средства

Средства измерений длин и углов в зависимости от **физического принципа, положенного в основу построения измерительного преобразователя прибора**, подразделяют на следующие группы:

- **штриховые** (имеют линейную или угловую шкалу и нониус - штангенинструменты, угломеры);
- **микрометрические** (основаны на использовании винтовой пары - микрометры);
- **рычажно-механические** (индикаторы часового типа, рычажные скобы и т.п.);
- **рычажно-оптические** (оптиметры);
- **оптико-механические** (проекторы, инструментальные микроскопы и т.п.);
- **пневматические** (основаны на применении сжатого воздуха);
- **гидравлические**;
- **электрические и электронные**;
- **комбинированные** (основаны на использовании различных принципов) и др.

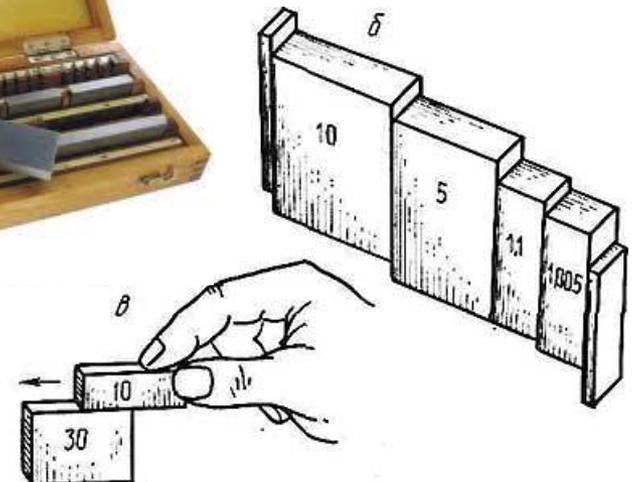


Меры длины и угловые меры

Меры длины по конструктивным признакам делятся на:

Штриховые меры длины используются в качестве эталонов, образцовых и рабочих штриховых мер, в виде шкал измерительных приборов, а также в инструментах, предназначенных для грубых измерений

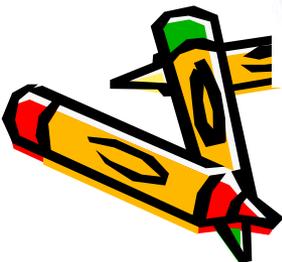
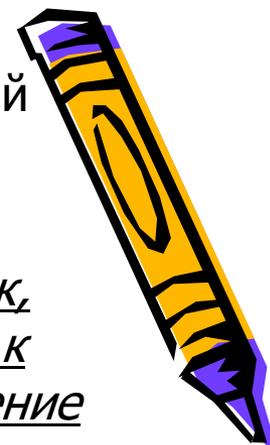
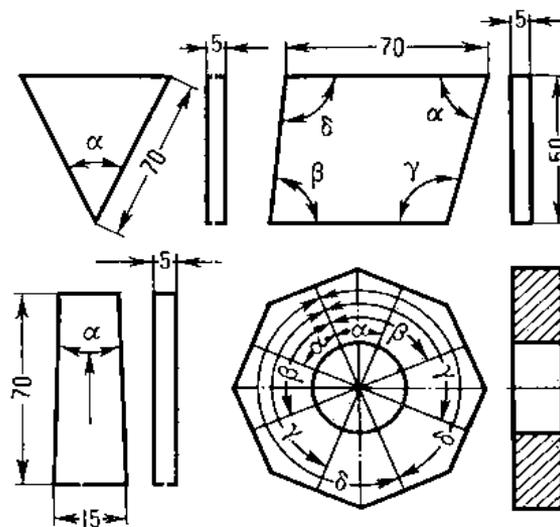
Плоскопараллельные концевые меры применяют для передачи размера от рабочего эталона единицы длины до изделия включительно, для установки измерительных инструментов и приборов на нуль, для проверки точности и градуирования измерительных инструментов и приборов.



Меры по точности изготовления делят на четыре класса: 0, 1, 2 и 3-й (ГОСТ 9038-73). Для мер, находящихся в эксплуатации, предусмотрены дополнительно 4-й и 5-й классы (ГОСТ 8.166-75)

Набор блока плиток по классу следует начинать с микронных плиток, затем переходить к соточным, дальше к десятичным и, наконец, к миллиметровым и сантиметровым, но так, чтобы числовое значение остатка каждый раз уменьшалось, по крайней мере на один десятичный разряд числа.

Угловые меры выполняются в виде призм, они предназначены для хранения и передачи единицы плоского угла, для поверки и градуировки угломерных приборов и угловых шаблонов, а также для контроля углов изделий.



Универсальные измерительные средства

Измерительные инструменты:

1. Штангенинструменты:

- штангенциркули,
- штангенглубиномеры,
- штангенрейсмусы.

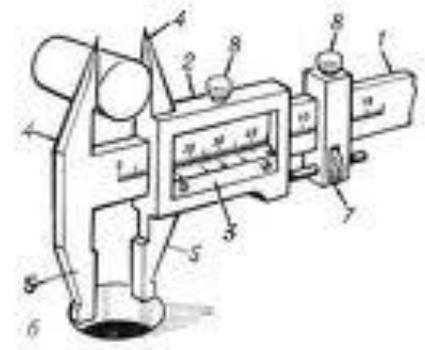
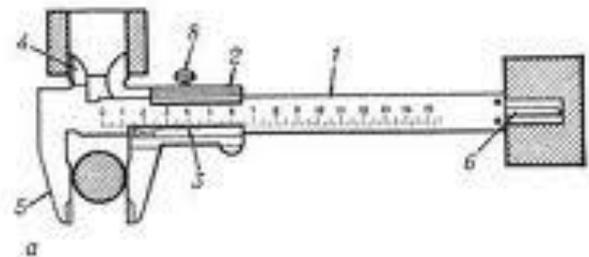
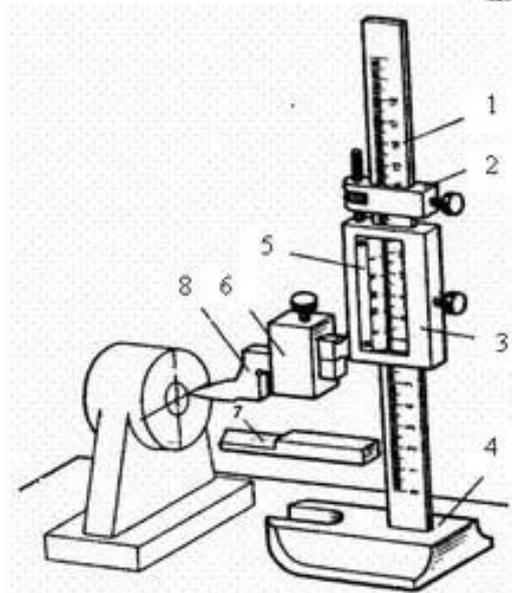
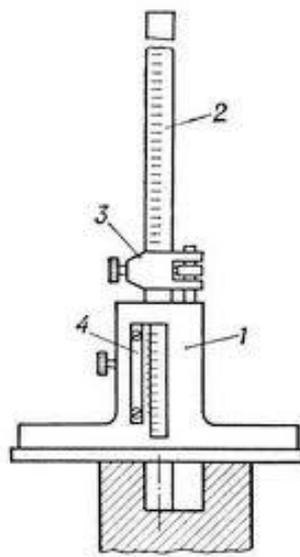
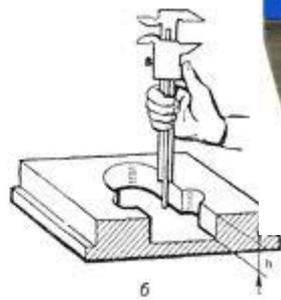
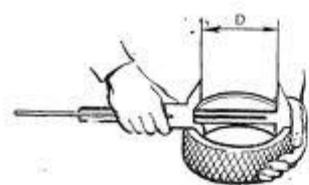
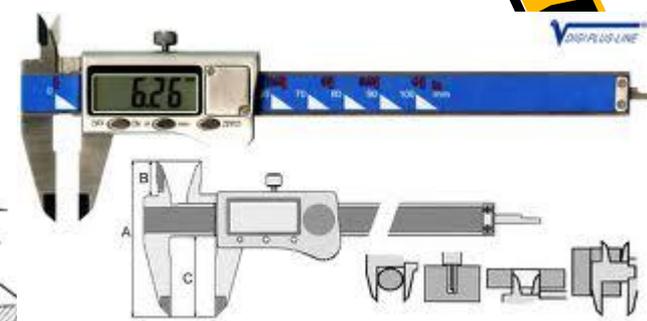
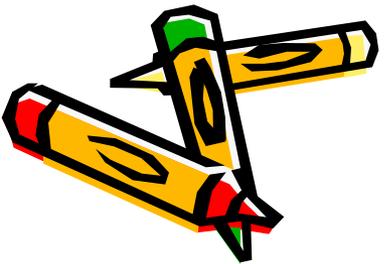
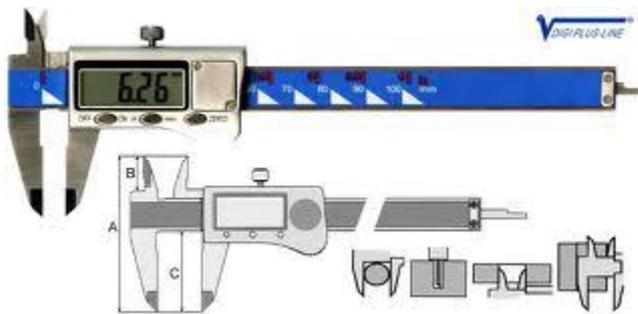


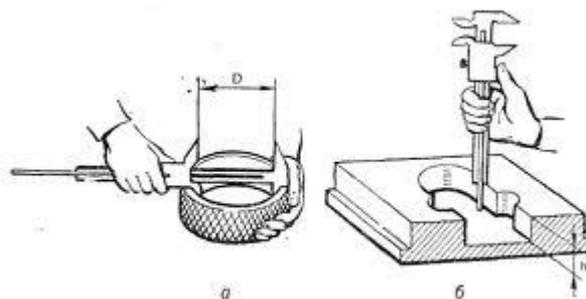
Рис. 13.4. Штангенрейсмус:
1 – штанга, 2 – микроподача, 3 – рамка,
4 – основание, 5 – нониус, 6 – державка,
7 – измерительная ножка, 8 – разметочная ножка



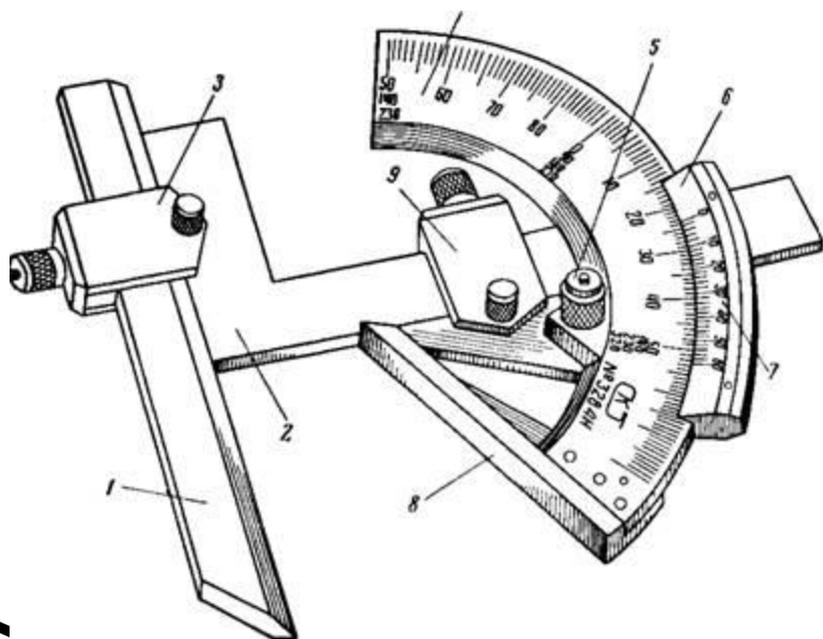
ШТРИХОВЫЕ



Цифровой штангенциркуль



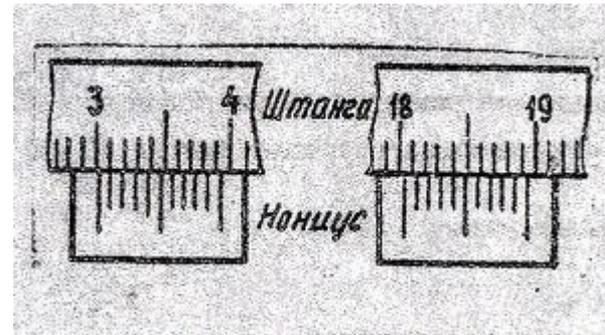
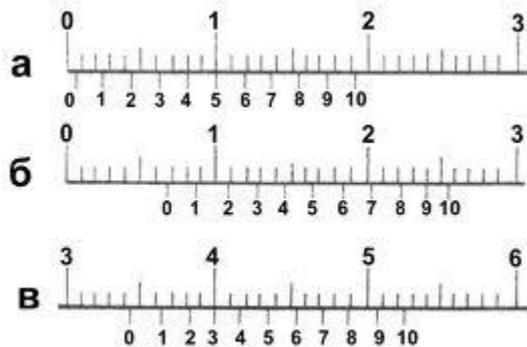
Цифровой штангенглубиномер



Штангенрейсмус



Угломер системы Семенова



РАСЧЕТ НОНИУСА

1. Определяем число делений нониуса

$$n = \frac{c}{i};$$

где c - интервал делений основной шкалы
 i - точность отсчета по нониусу

2. Определяем интервал делений шкалы нониуса

$$b = yc - i;$$

где y – модуль нониусного отсчетного приспособления

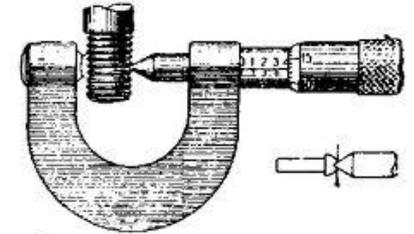
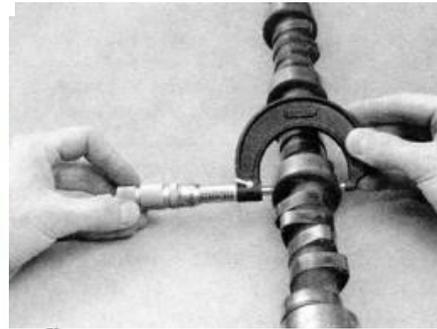
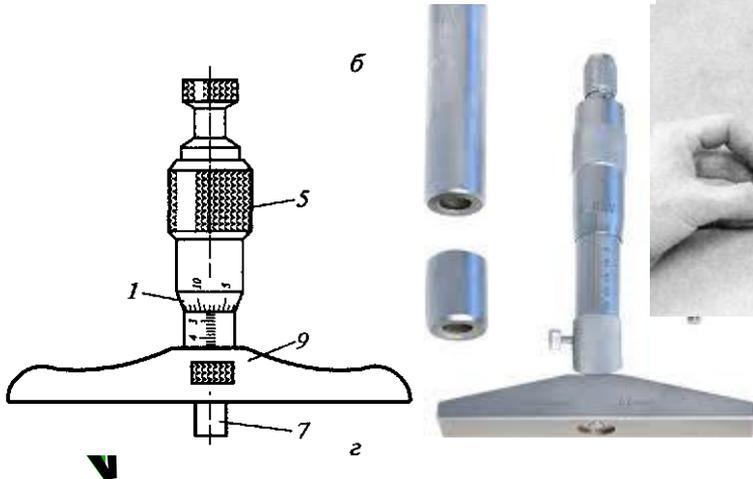
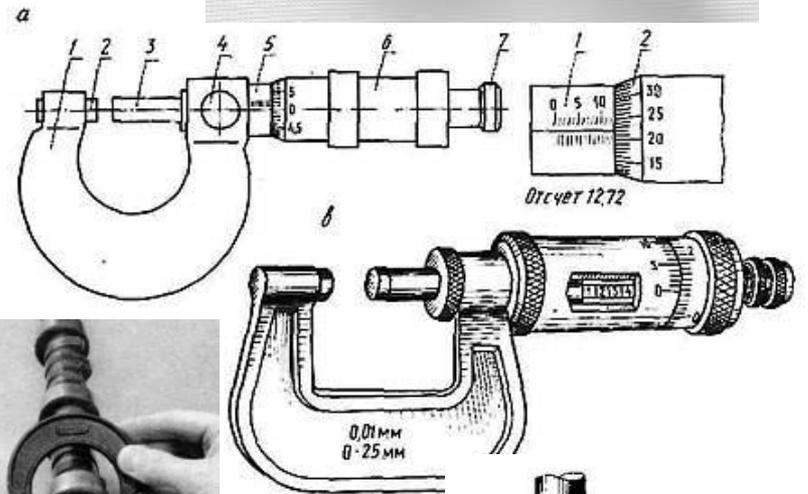
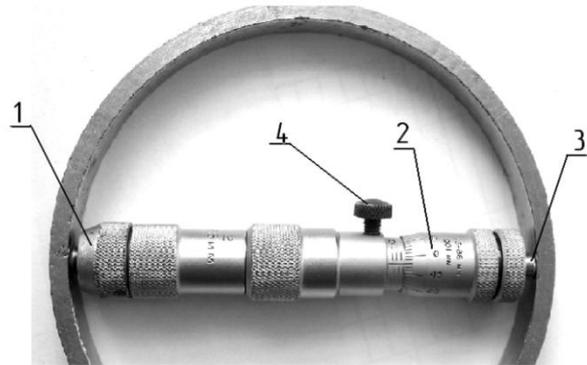
3. Определяем длину шкалы нониуса

$$l = nb = n(yc - i).$$



2. Микрометрические измерительные инструменты основаны на использовании винтовой пары (винт-гайка), которая преобразовывает вращательное движение микровинта в поступательное.

- Микрометры гладкие
- Нутромеры
- Глубиномеры
- Специальные микрометры (резьбовые и т.д.)



В микрометрических инструментах используется винтовая пара.

Чаще применяют резьбу с шагом 0,5 мм. При полном обороте винта он переместится вдоль оси на 0,5 мм. Для отсчета этого перемещения на стебле наносится вдоль оси шкала с деление через 0,5.

Круговая шкала барабана имеет 50 делений, что позволяет определить доли основной шкалы.

При вращении барабана микрометрический винт переместится вдоль оси на величину l :

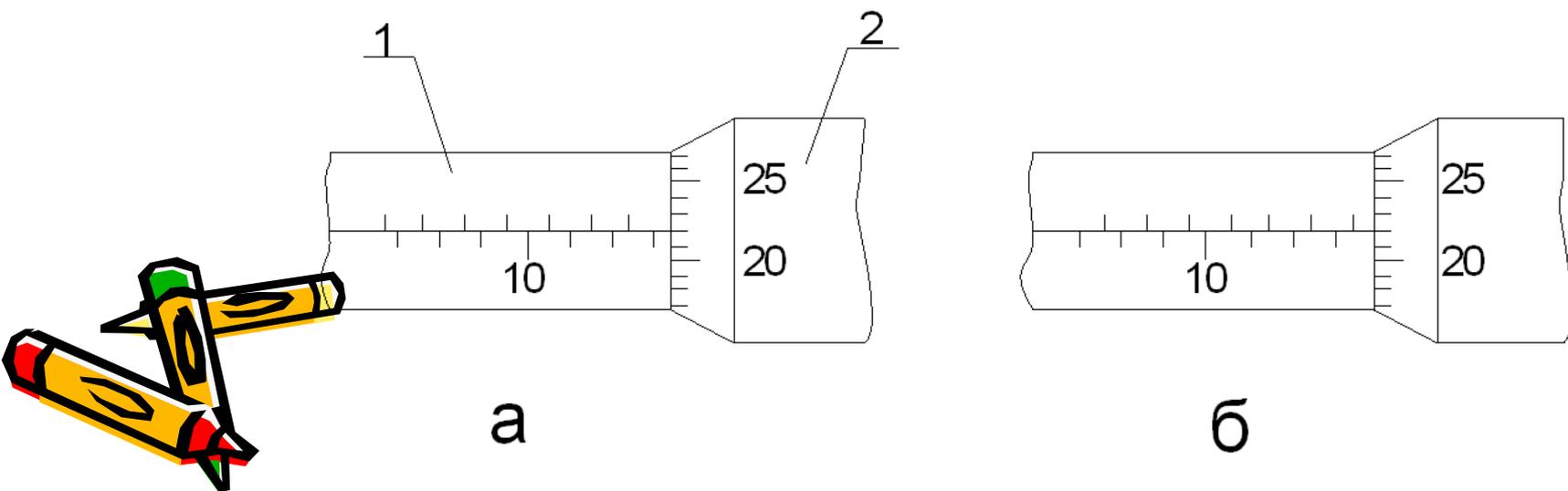
$$l = p \cdot n$$

Если повернуть винт на $1/50$ часть оборота, то он переместится на 0,01 мм, так как

$$l = 0,5 / 50 = 0,01 \text{ мм}$$

где $l = 0,01$ мм величина отсчета микрометрического инструмента

Пример отсчета показаний: а - 13,22 мм; б - 13,72 мм



3. Механические измерительные приборы, приборы с пружинной и пружинно-оптической передачей

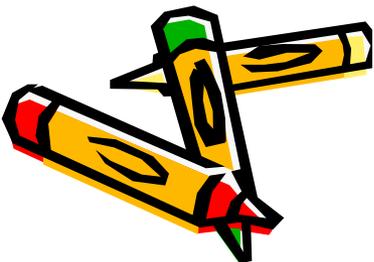
Отклонения могут оцениваться с точностью от 0,01 до 0,0005, в зависимости от типа измерительной головки

Измерительные головки (отсчитывающие устройства) применяют только совместно с различными стойками или приспособлениями.

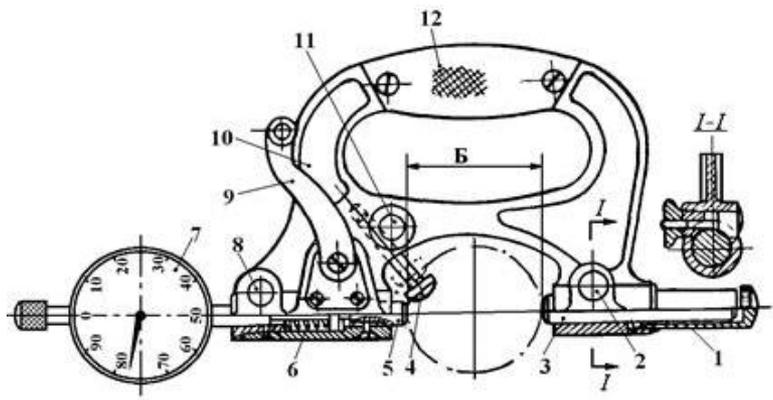
По *конструктивным признакам* они подразделяются на рычажные (миниметры и рычажные индикаторы), зубчатые (индикаторы), пружинные (микрокаторы), рычажно-зубчатые (рычажные скобы).

Миниметр – измерительная головка рычажной передачей

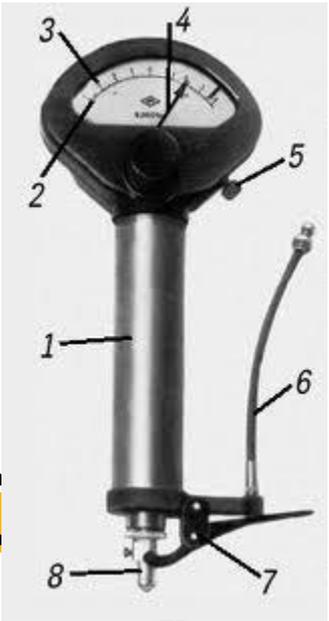
Индикатор с зубчатой передачей. Принцип действия основан на преобразовании возвратно-поступательного движения измерительного стержня во вращательное движение стрелки при помощи зубчатого передаточного механизма



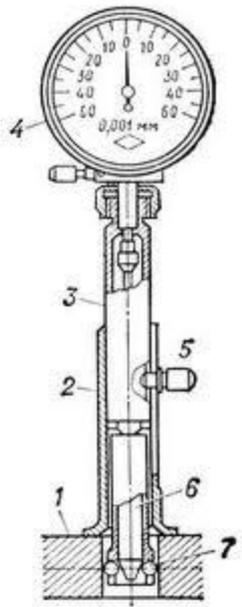
Рычажно-механические



Рычажно-зубчатый индикатор



*Микрометр
Индикаторный нутромер*



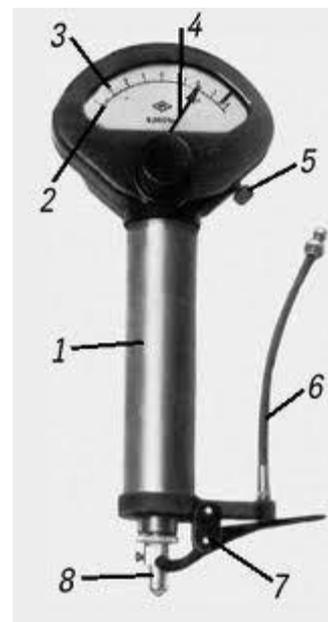
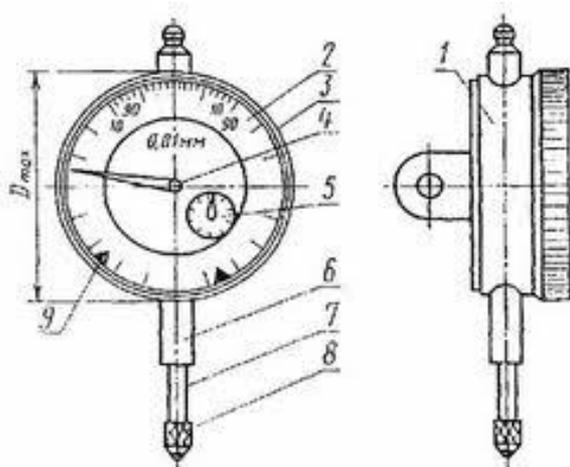
Рычажная скоба



Рычажно-зубчатый индикатор предназначен преимущественно для измерения отклонений изделий от заданной геометрической формы в труднодоступных местах и используется как правило, только с универсальной стойкой.

Принцип работы: Отклонение измерительного рычага от установленного положения вызывает поворот рычага, с которым соединен зубчатый сектор, находящийся в постоянном зацеплении с зубчатым колесом. На оси колеса насажена стрелка. Измерительное усилие создается плоской пружиной, которая соединена в нижней части с рычагом, а в верхней со втулкой

Микрокатор относится к приборам, где передаточное отношение осуществляется с помощью пружинного механизма.



Приборы для измерения наружных размеров

- Стойка легкого типа с круглым столом служит для измерения деталей с размерами не больше 125 мм. Она состоит : Основание, круглый нерегулируемый столик, кронштейн, к которому крепится винтом индикатор, колонка и винт, при помощи которого фиксируют положение кронштейна относительно столика.
- Стойка легкого типа с квадратным столом приспособлена для измерения более крупных деталей. (Пределы измерения – 200мм)
- Индикаторная скоба. Изготавливают с пределами измерения 0-50, 50-100, 100-200, 200-300 мм и дальше до 1000мм с интервалом в 100 мм

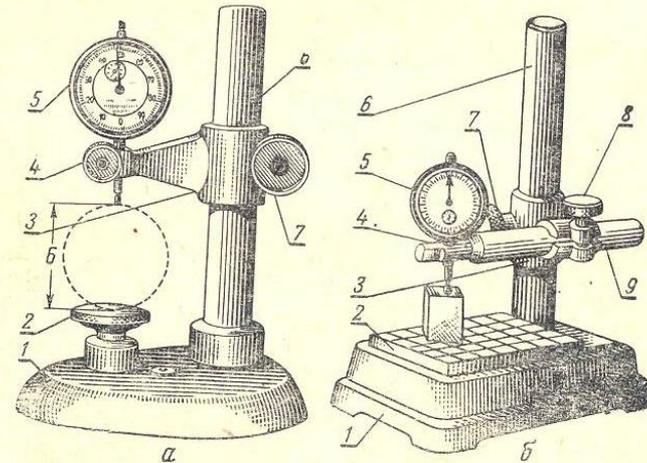
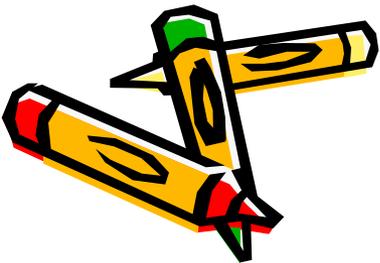
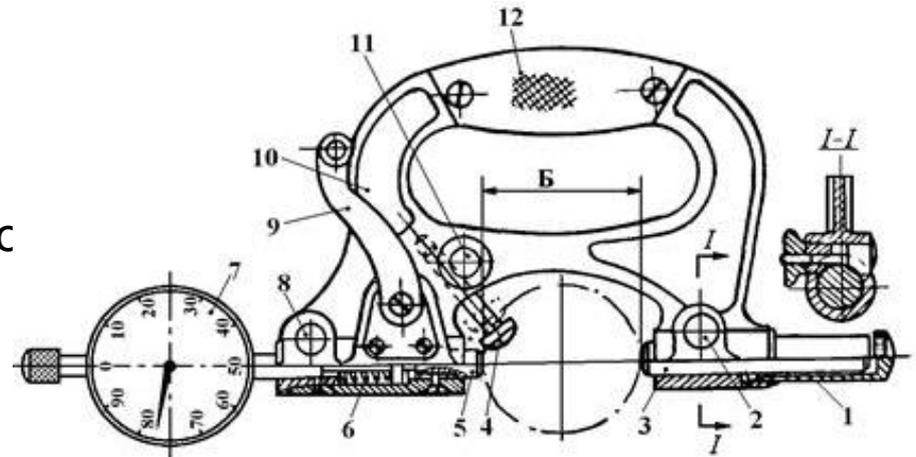
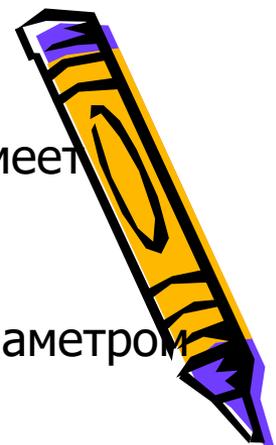
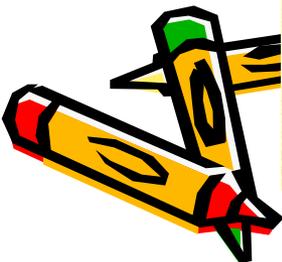
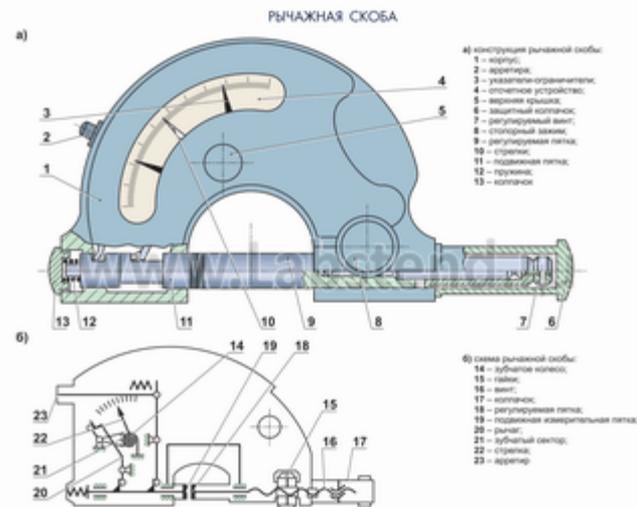
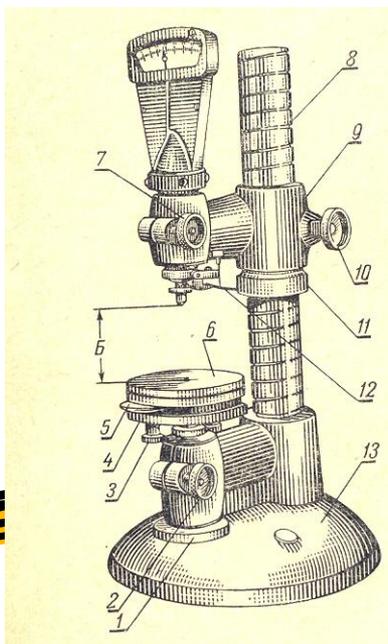


Рис. 96. Стойки легкого типа:

a — с круглым столом; *б* — с квадратным столом; 1 — основание; 2 — стол; 3 — кронштейн; 4 — винт для крепления головки; 5 — индикаторная головка; 6 — колонка (стойка); 7 — винт крепления кронштейна к стойке; 8 — винт для крепления державки; 9 — державка.



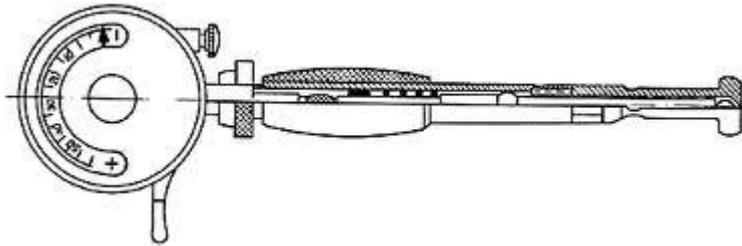
- Стойки тяжелого типа приспособлены для использования измерительных головок, соединительная втулка которых имеет диаметр 28 мм
- Вертикальная стойка тяжелого типа с регулируемым столом предназначена для измерений изделий высотой до 180 мм с диаметром не более 150 мм
- рычажная скоба представляет собой прибор, в котором отсутствует специальная измерительная головка, а передаточное отношение осуществляется за счет рычажно-зубчатого механизма, встроенного в корпус



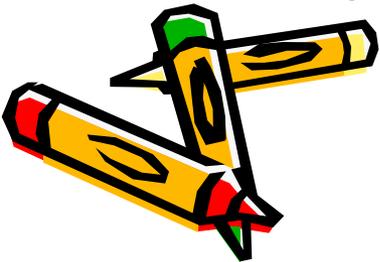
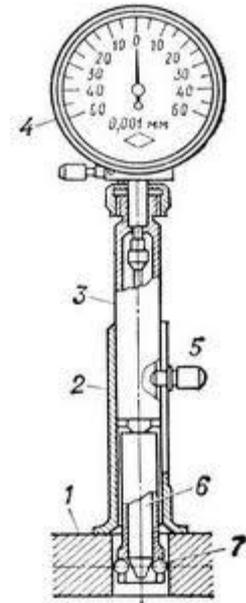
Приборы для измерения внутренних размеров

Индикаторные нутромеры

- Цанговые для измерения диаметров малых отверстий (3-10 мм)

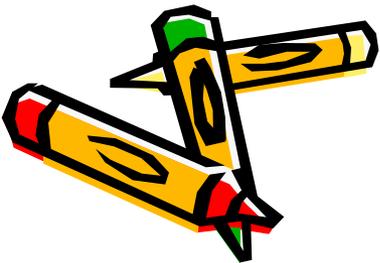
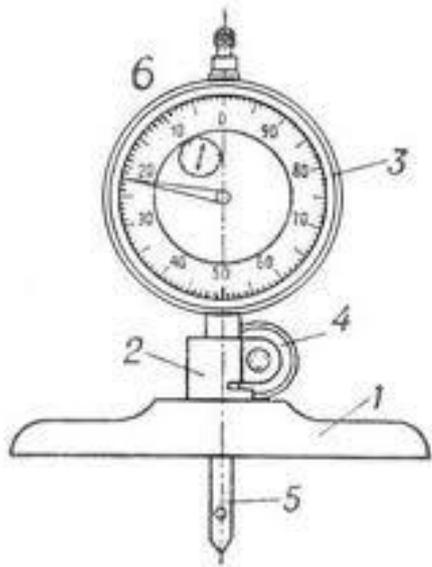


- С клиновой и рычажной передачей для измерения наиболее ходовых диаметров 18-35, 35-50, 50-100, 100-160, 160-250, 250-450 мм
- С прямой передачей для измерения больших диаметров



Индикаторный глубиномер

Измеряют глубину отверстий, пазов, высоту уступов и т.д. (Пределы измерения глубины зависит от длины сменных стержней, которые изготавливают в пределах 0-10, 10-20 мм и т.д. до 100мм с шагом 10 мм)

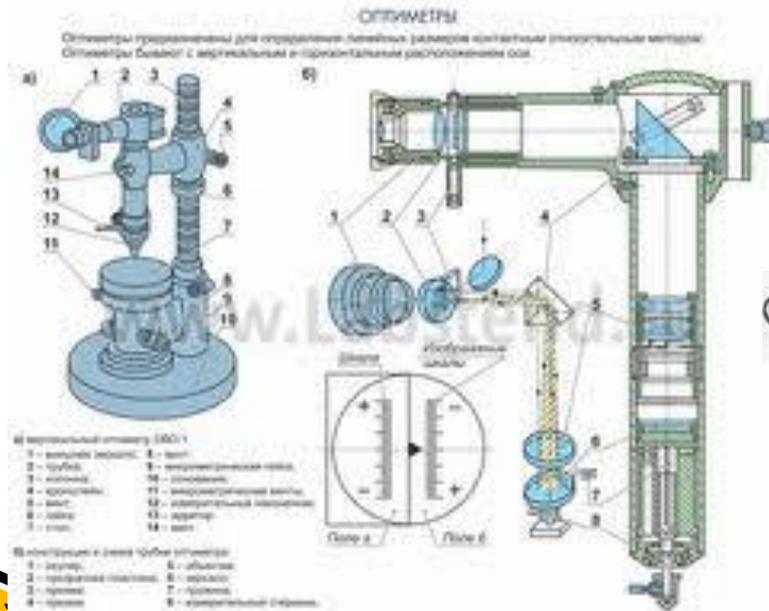


4. Оптико-механические приборы

Оптиметр – измерительная головка, в которой механический рычаг сочетается с оптическим. Применяется при измерениях требующих высокой точности, и даже при переаттестации концевых мер.

Работа оптиметра основана на принципе автоколлимации.

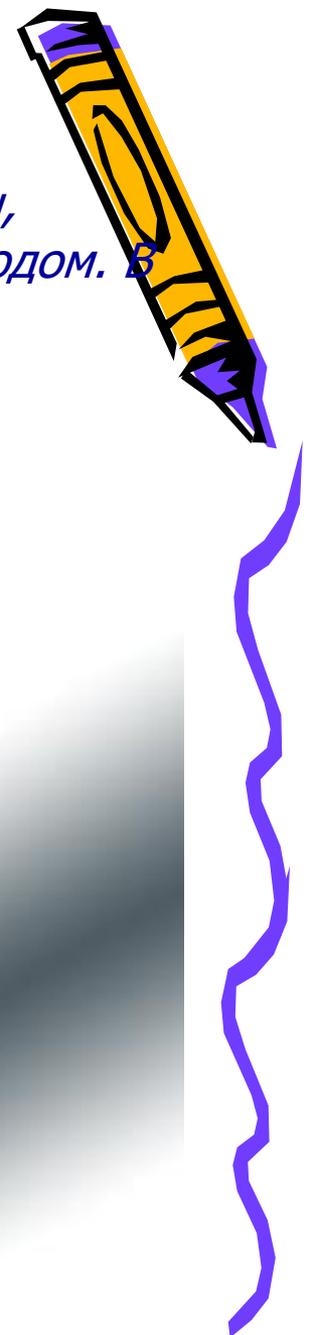
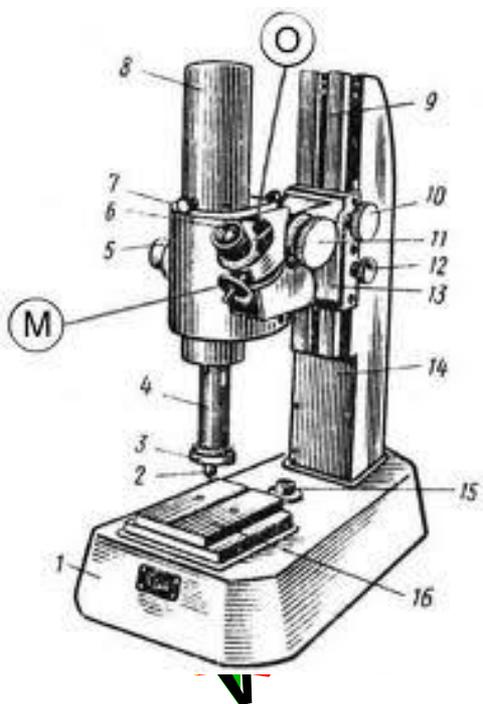
Автоколлимацией называется способность объектива превращать пучок лучей, исходящих из точки O , расположенного в фокусе объектива, в пучок параллельных лучей, который после отражения плоским зеркалом собирается в том же фокусе объектива



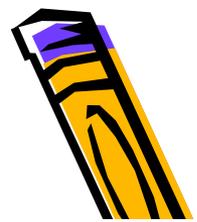
Оптико-механические

Длиномеры относятся к группе измерительных машин. Это приборы, которые предназначены для линейных измерений абсолютным методом. В длиномере применен принцип Аббе, т.е. основная линейная шкала является продолжением измеряемой детали.

Стеклянная шкала имеет деления от 0 до 100мм

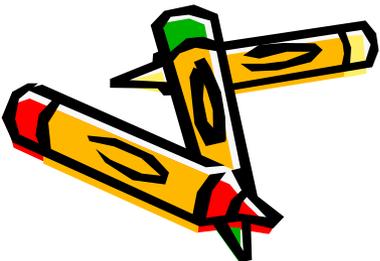
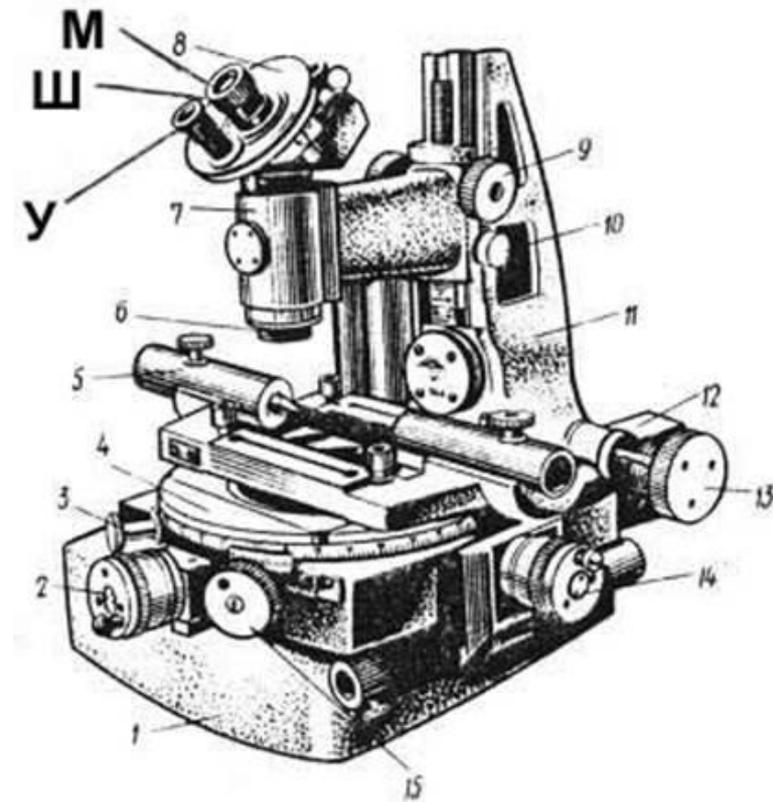


Инструментальные и универсальные микроскопы



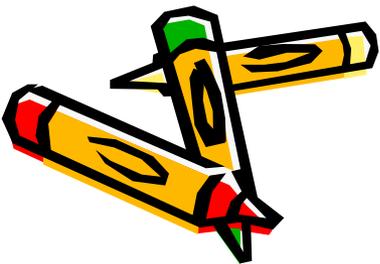
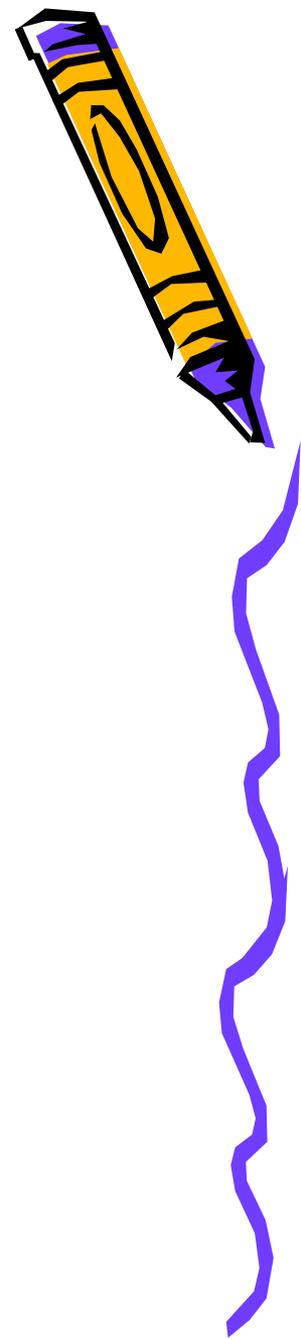
Большой инструментальный микроскоп БМИ применяется для измерения линейных размеров в прямоугольных координатах, а также для измерения параметров резьбы, режущего и измерительного инструментов.

Принцип измерения на микроскопе заключается в том, что на штриховую сетку угломерной окулярной головки проекционным способом накладывается изображение контура проверяемого объекта. При измерении изменяется положение контура детали относительно линии штриховой сетки. Это относительное перемещение наблюдается в окуляр и отсчитывается при помощи измерительных устройств микроскопа. Деталь по возможности следует устанавливать так, чтобы измеряемый размер располагался параллельно перемещению измерительного стола. В этом случае принимается, что величина перемещения равна измеряемому размеру.

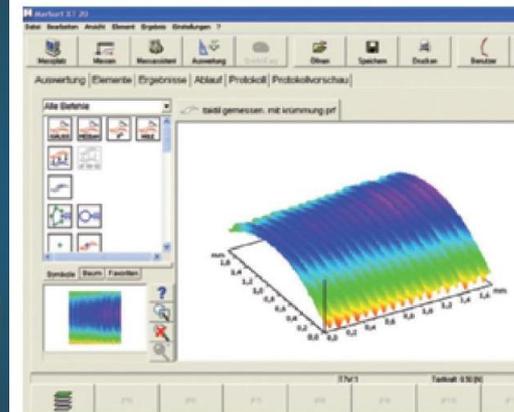


Средства измерения специального назначения подразделяют на группы:

- измерение формы и расположение поверхностей;
- измерения параметров шероховатости поверхности;
- измерения параметров резьбы;
- измерения параметров углов и конусов;
- измерений параметров зубчатых колес.



Измерение формы и расположения поверхностей;

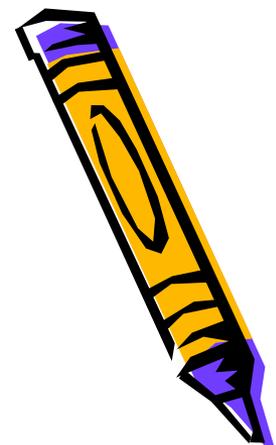
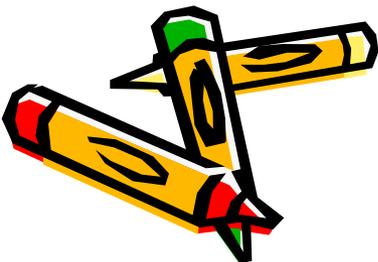


Стойка с индикаторной головкой

Универсальная машина для измерения отклонений формы и расположения поверхностей



Индикаторный нутромер



Измерения параметров шероховатости поверхности;



Прибор для мобильного и стационарного измерения шероховатости поверхности



Измеритель шероховатости поверхности



Микроинтерферометр



Измерения параметров резьбы



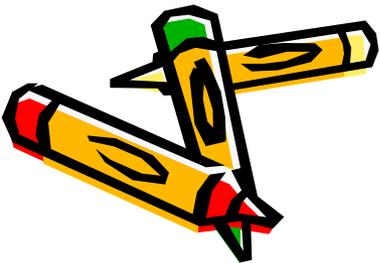
*Прибор для измерения
глубины резьбы*



Резьбовой микрометр



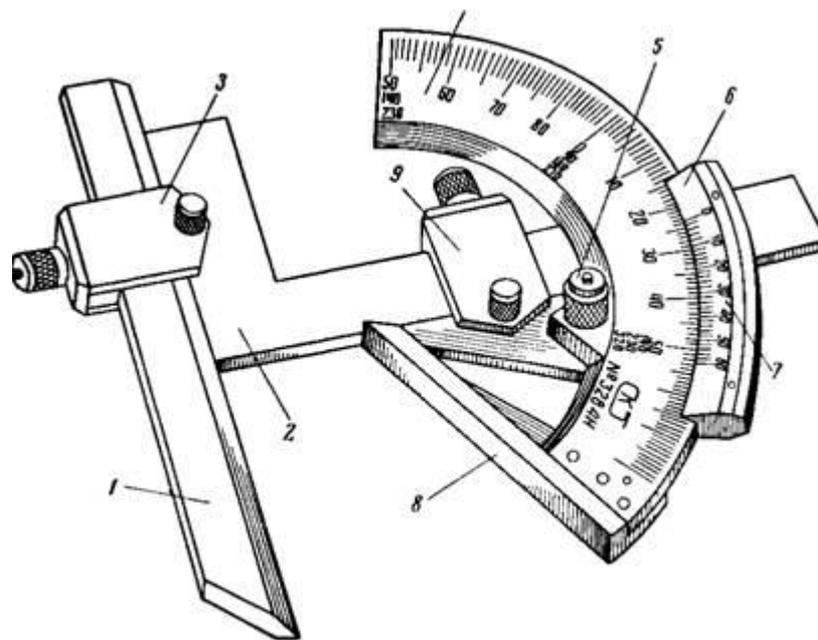
*Наружный прибор для
измерения резьб*



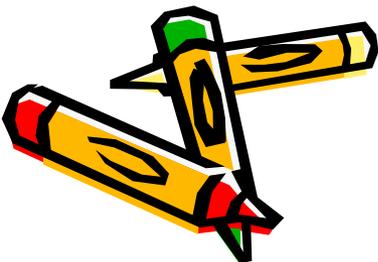
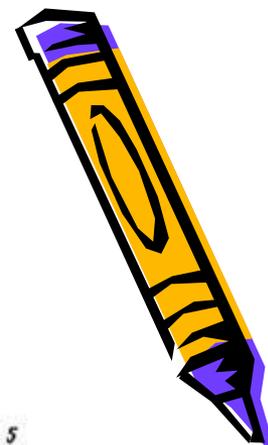
Измерения параметров углов и конусов



Измеритель углов



Угломер системы Семенова



Измерений параметров зубчатых колес



*Измерительный центр
для проверки зубчатых
колес*



*Измерительный центр для
проверки зубчатых колес*

Методы контроля зубчатых колес

