

Лекция 2. Основы технических измерений

Технические

Лабораторные
(исследовательские)

С точным оцениванием погрешности

С приближенным оцениванием погрешности

Однократные

Многократные

по числу
измерений
величины

По точности оценки
погрешности

по связи с
объектом

Бесконтактные

Контактные

Необходимые

Избыточные

по степени
достаточности
измерений

Виды измерение

по методу

Непосредственной оценки

Сравнения с мерой

Дифференциальный

Нулевой

Замещения

Совпадения

Дополнения

Противопоставления

по характеру
результата
измерений

по условиям
измерений

по способу
получения
информации

Абсолютные

Допусковые (пороговые)

Относительные

Равноточные

Неравноточные

Прямые

Косвенные

Совокупные

Совместные

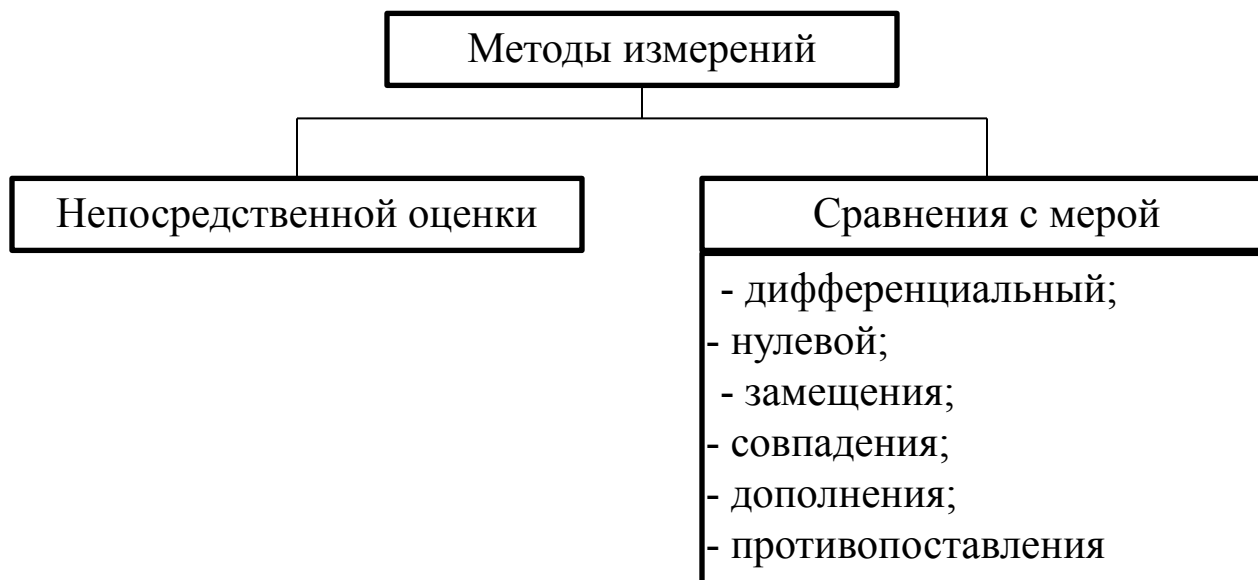
Динамические

Статические

Определение. **Метод измерений** - прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Определение. **Метод измерения** – это способ экспериментального определения значения физической величины, т. е. совокупность используемых при измерениях физических явлений и средств измерений.

Примечание - Метод измерений обычно обусловлен устройством средств измерений



Определение. **Метод непосредственной оценки** - метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений

Примеры:

- измерение напряжения вольтметром;
- отсчет времени по часам;
- измерение температуры по термометру.

Этот метод является наиболее распространенным, но его точность зависит от точности измерительного прибора.

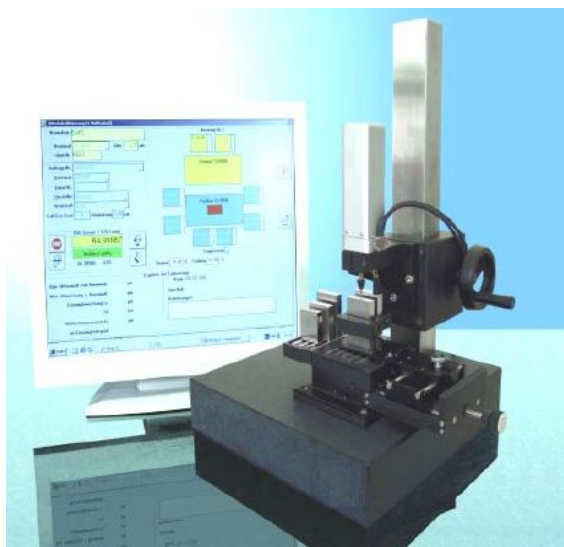
Определение. **Метод сравнения с мерой** - метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой

Пример - измерение массы на рычажных весах

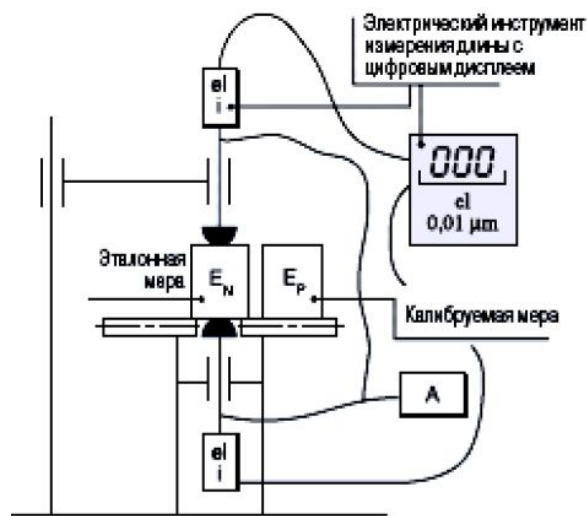
Определение. **Дифференциальный метод измерений** - метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами

Примером дифференциального метода является поверка мер длины сличением с эталонными мерами на компараторе (приборе, предназначенном для сравнения мер).

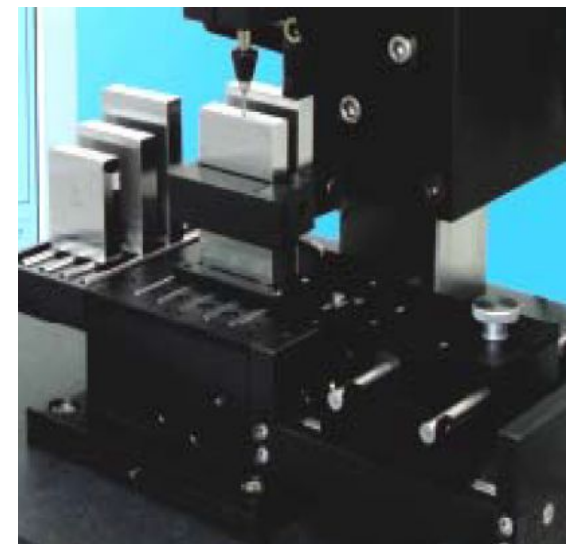
Определение. **Компаратор** – средство сравнения, предназначенное для сличения мер однородных величин



а)



б)



в)

Рис.2.1 – Компаратор для поверки мер длины концевых плоскопараллельных:

а – общий вид прибора; б – схема измерения; в – процесс измерения концевых мер

При **дифференциальном** методе производится неполное уравнивание измеряемой величины X величиной X_M , воспроизводимой мерой, и определение их разности ΔX . Следовательно, результат измерений равен $X = X_M + \Delta X$. Дифференциальный метод позволяет существенно повысить точность измерений. Например, если $\Delta X = 0,01X$ и относительная погрешность измерения ΔX составляет 1 %, то относительная погрешность результата измерений X равна 0,01 % (если не учитывать погрешность меры).

Частным случаем дифференциального метода является **нулевой метод измерений**.

Определение. **Нулевой метод измерений** - метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля.

В данном методе значение измеряемой величины равняется значению, которое воспроизводит мера.

Примеры:

- взвешивание массы на весах с помощью набора гирь;
- измерение электрического напряжения уравновешенным мостом.

Дифференциальный метод обеспечивает снижение погрешности измерений. Для борьбы с систематическими погрешностями полезен метод замещения.

Определение. **Метод измерений замещением** – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины.

Поскольку эти измерения делают одним прибором в одинаковых условиях, систематическая погрешность измерений может быть в значительной степени скомпенсирована.

Примеры:

- метод замещения (метод Борда): существенная составляющая погрешности измерений массы на рычажных весах – погрешность от неравноплечести весов — может быть исключена из результата измерений, если измерения проводить по методу Борда, взвешиванием с помещением по очереди измеряемой массы и гирь на одну чашку весов;
- метод замещения (метод Д.И. Менделеева): на чашку весов, предназначенную для взвешивания массы, устанавливают полный комплект гирь и уравнивают весы произвольным грузом. Затем на чашку с гирями помещают взвешиваемую массу и снимают часть гирь для восстановления равновесия. Суммарное значение массы снятых гирь соответствует значению взвешиваемой массы

МИ 1747-87. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ. ГСИ. МЕРЫ МАССЫ ОБРАЗЦОВЫЕ И ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ. МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

Настоящие методические указания (МИ) распространяются на меры массы и устанавливают методику их первичной и периодической поверок. В МИ описаны вышеприведенные методы измерений (метод Борда, метод Д.И.Менделеева), примеры определения массы гирь.

Определение. **Метод измерений дополнением** - метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению

Определение. **Метод противопоставления** – метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами.

Определение. **Метод совпадений** - метод измерений, при котором определяют разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой мерой, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.

Для оценки совпадения используют прибор сравнения или органолептику, фиксируя появление определенного физического эффекта (стробоскопический эффект, совпадение резонансных частот и др.). Метод совпадений часто применяется при измерениях параметров периодических процессов.

Пример - измерение длины при помощи штангенциркуля с нониусом.

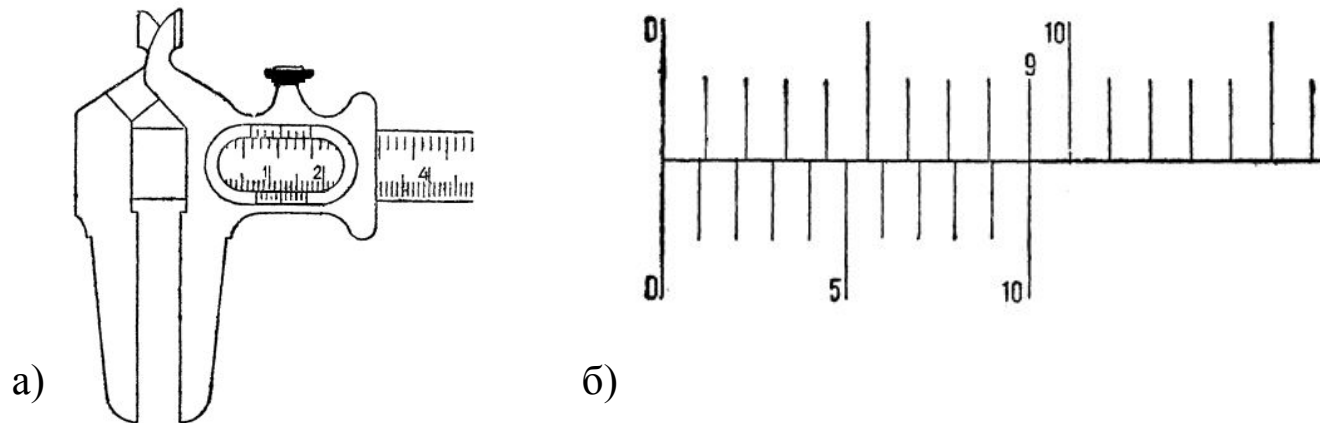


Рис.2.1 – Штангенциркуль с нониусом:

а – общий вид прибора; б – шкала прибора с нониусом

Определение. **Контактный метод измерений** – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения.

Примеры:

- измерение диаметра вала индикаторной скобой;
- измерение температуры тела термометром.

Определение. **Бесконтактный метод измерений** – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент средства измерений не приводится в контакт с объектом измерения.

Примеры:

- измерение температуры в доменной печи пирометром;
- измерение расстояния до объекта радиолокатором

Если под контактом подразумевать только механический контакт чувствительного элемента средства измерений с объектом измерения, то деление методов измерений на контактные и бесконтактные имеет определенный смысл. Это существенно для анализа погрешностей, которые возникают из-за взаимодействия прибора с объектом измерений. При механическом контакте необходимо учитывать взаимодействия объекта и средства измерений (деформации из-за их недостаточной жесткости, контактные деформации, колебание переходных сопротивлений и др.). При отсутствии механического контакта следует учитывать особенности "бесконтактного съема" измерительной информации– оптические искажения в воздухе, ослабление сигнала на расстоянии и т.д.

Определение. **Методика выполнения измерений** - установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом.

Для анализа методики выполнения измерений использование классификации методов измерений имеет существенное практическое значение, поскольку они прямо связаны с поиском источников погрешностей и оценкой их характера. Так метод непосредственной оценки может характеризоваться прогрессирующей составляющей погрешности, которая увеличивается с увеличением измеряемой величины. У всех разновидностей методов сравнения с мерой обязательно присутствуют не только погрешности приборов, но и погрешности мер, причем механизмы их проявления несколько различаются в соответствии с разновидностью метода.

Пример кратких характеристик методики выполнения измерений:

- определение плотности материала по результатам измерений размеров (длин) образца и его массы – косвенное измерение искомой величины, требующее совместных измерений разноименных величин (длины и массы) и совокупных измерений нескольких одноименных физических величин (длин). Вычисляемый объем в этом случае также можно рассматривать как результат косвенного измерения.

МИ 29-99 определяет методы измерений (метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой). Кроме того, можно предложить укрупненное деление измерений по различным основаниям классификации: виды измерений.

ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

По способу получения информации об измеряемом объекте измерения бывают:

1. Прямые измерения - непосредственное сравнение измеряемой величины с ее мерой.

При прямых измерениях экспериментальным операциям подвергают измеряемую величину, которую сравнивают с мерой непосредственно или же с помощью измерительных приборов, градуированных в требуемых единицах.

Примеры:

- измерения длины объекта линейкой,
- измерение массы при помощи весов

2. Косвенные измерения - сравнение осуществляется косвенно и получают результат или через преобразование или через установленную формулу.

Косвенные измерения широко применяются и в технике и в лабораторных исследованиях, когда измеряемая величина или не имеет эталона, или отсутствует необходимый прибор. Значение измеряемой величины находят путем вычисления по формуле $Q = F(x_1, x_2, \dots, x_N)$, где F - функциональная зависимость, которая заранее известна, x_1, x_2, \dots, x_N - значения величин, измеренных прямым способом.

Косвенные измерения широко распространены в тех случаях, когда искомую величину невозможно или слишком сложно измерить непосредственно или когда прямое измерение дает менее точный результат. Роль их особенно велика при измерении величин, недоступных непосредственному экспериментальному сравнению, например размеров астрономического или внутриатомного порядка.

Примеры косвенных измерений:

- определение объема тела по прямым измерениям его геометрических размеров;
- нахождение удельного электрического сопротивления проводника по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения

3. **Совокупные измерения** сопряжены с решением систем уравнений, составленных по результатам одновременных измерений нескольких однородных величин, характеризующих данный предмет или изделие.

Примеры:

- метеорология - измеряют силу ветра, влажность воздуха, фронты и т.д. Затем все параметры сводят в уравнение и предсказывают погоду;
- определение массы отдельных гирь набора (калибровка по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь)

4. **Совместные измерения** - измеряют 2 или более однородные величины для определения зависимости между этими величинами

Примеры:

- измерения твердости и пластичности материала;
- измерение электрического сопротивления при 20°C и температурных коэффициентов измерительного резистора по данным прямых измерений его сопротивления при различных температурах

По характеру изменения измеряемой величины измерения бывают:

1. **Статические** – связаны с такими величинами, которые не изменяются на протяжении времени измерения.

Примеры:

- измерения размеров тела;
- измерение постоянного давления;
- измерение электрических величин в цепях с установившемся режимом

2. **Динамические** – связаны с такими величинами, которые в процессе измерений меняются (температура окружающей среды)

Примеры:

- измерения пульсирующих давлений;
- измерение вибраций;
- измерение электрических величин в условиях протекания переходного процесса.

По количеству информации измерения бывают:

1. **Однократные** – измерение выполненное один раз
2. **Многократные** – измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т. е. состоящее из ряда однократных измерений

Многократные измерения применяют если требуется высокая точность измерений (для исключения случайных погрешностей), а также если на измерение может повлиять окружающая среда или климатические условия.

По способу считывания информации с измерительного прибора измерения бывают:

1. **Абсолютные** – эталонная и измеряемая величина совпадают
2. **Относительные** – базируются на установлении отношения измеряемой величины, применяемой в качестве единицы. Такая измеряемая величина зависит от используемой единицы измерения

По условиям измерения измерения бывают (по точности):

1. **Равноточные измерения** - однотипные результаты, получаемые при измерениях одним и тем же инструментом или им подобным по точности прибором, одним и тем же (или аналогичным) методом и в тех же условиях.
2. **Неравноточные измерения** — измерения, произведённые в случае, когда нарушаются эти условия.

Средства измерений

Определение. **Средство измерений** – техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным в пределах установленной погрешности и в течение известного интервала времени.

Классификация средств измерений

По метрологическому назначению средства измерений подразделяются на:

- 1. Рабочие средства измерений**, предназначенные для измерений физических величин, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

РСИ являются самыми многочисленными и широко применяемыми.

Примеры РСИ: электросчетчик - для измерения электрической энергии; теодолит – для измерения плоских углов; нутромер – для измерения малых длин (диаметров отверстий); термометр – для измерения температуры; измерительная система теплоэлектростанции, получающая измерительную информацию о ряде физических величин в разных энергоблоках;

- 2. Образцовые средства измерений**, предназначенные для обеспечения единства измерений в стране.

По стандартизации средства измерений подразделяются на:

- 1. Стандартизованные средства измерений**, изготовленные в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта
- 2. Нестандартизованные средства измерений** – уникальные средства измерений, предназначенные для специальной измерительной задачи, в стандартизации требований к которому нет необходимости

Примечание. Нестандартизованные средства измерений не подвергаются государственным испытаниям (поверкам), а подлежат метрологическим аттестациям.

По степени автоматизации средства измерений подразделяются на:

- 1. Автоматические средства измерений**, производящие в автоматическом режиме все операции, связанные с обработкой результатов измерений, их регистрацией, передачей данных или выработкой управляющего сигнала
- 2. Автоматизированные средства измерений**, производящие в автоматическом режиме одну или часть измерительных операций
- 3. Неавтоматические средства измерений**, не имеющие устройств для автоматического выполнения измерений и обработки их результатов (рулетка, теодолит и т. д.)

По конструктивному исполнению средства измерений подразделяются на:

- 1. Мера** – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Мера выступает в качестве носителя единицы физической величины и служит основой для измерений.

Примеры мер:

- гиря – мера массы;
- песочные часы — мера интервалов времени;
- концевые меры— мера длины.

а)



б)



в)



Рис.2.2 – Меры физических величин:

а – гири; б – песочные часы; в – концевые меры

2. Измерительный преобразователь – средство измерений для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному наблюдению человеком (оператором).

Часто используют термин первичный измерительный преобразователь или датчик.

Электрический датчик – это один или несколько измерительных преобразователей, объединенных в единую конструкцию и служащих для преобразования измеряемой неэлектрической величины в электрическую.

Например: датчик давления, датчик температуры, датчик скорости и т. д.

3. Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия человеком (оператором).

4. Измерительная установка – совокупность функционально объединенных средств измерений, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного наблюдения человеком и расположенная в одном месте.

Измерительная установка может включать в себя меры, измерительные приборы и преобразователей, а также различные вспомогательные устройства.

5. Измерительно-информационная система - совокупность средств измерений, соединенных между собой каналами связи и предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

Простые и более сложные средства измерений могут включать типовые элементы, к которым можно отнести *чувствительный элемент, измерительный механизм, показывающее устройство, регистрирующее устройство, цифровое табло измерительного прибора.*

Чувствительный элемент средства измерений (чувствительный элемент) – часть измерительного преобразователя в измерительной цепи, воспринимающая входной измерительный сигнал.

Измерительный механизм средства измерений (измерительный механизм) – совокупность элементов средства измерений, которые обеспечивают необходимое перемещение указателя (стрелки, светового пятна и т. д.).

Показывающее устройство средства измерений (показывающее устройство) – совокупность элементов средства измерений, которые обеспечивают визуальное восприятие значений измеряемой величины или связанных с ней величин.

Показывающие устройства приборов чаще всего выполнены в виде системы шкала-указатель или числового табло.

Показывающее устройство «цифрового» измерительного прибора называется табло цифрового измерительного прибора (табло прибора; табло).

Шкала средства измерений (шкала) – часть показывающего устройства средства измерений, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ними нумерацией. Отметки на шкалах могут быть нанесены равномерно (равномерная шкала) или неравномерно (неравномерная шкала).

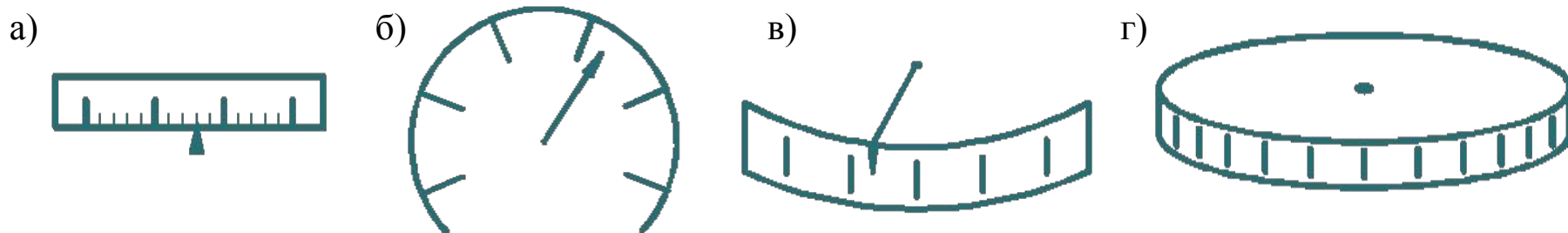


Рис.2.3 – Виды шкал:

а – линейная; б – дуговая; в – профильная; г – барабанная

Отметка шкалы (отметка) – знак на шкале средства измерений (черточка, зубец, точка и др.), соответствующий некоторому значению физической величины.

Отметку шкалы средства измерений, у которой проставлено число, называют числовая отметка шкалы, а промежуток между двумя соседними отметками шкалы средства измерений называется делением шкалы.

Указатель средства измерений (указатель) – часть показывающего устройства, положение которой относительно отметок шкалы определяет показания средства измерений.

Указателем может быть стрелка, штрих, кромка детали, перемещающейся относительно шкалы, световое пятно с маркой, край столбика жидкости и т.д. Изменение показаний в системе шкала-указатель, может осуществляться за счет перемещения любого из элементов относительно другого.

Метрологические характеристики средств измерений

Метрологическими характеристиками, согласно ГОСТ 8.009-84, называются технические характеристики, описывающие эти свойства и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений, предназначенные для оценки технического уровня и качества средства измерений, для определения результатов измерений и расчетной оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерений.

ГОСТ 8.009-84. НОРМИРУЕМЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Метрологические характеристики (МХ) средств измерений по ГОСТ 8.009-84 делят на следующие группы:

- характеристики, предназначенные для определения результатов измерений (без введения поправки). Такие МХ можно назвать номинальными;
- характеристики погрешностей СИ;
- характеристики чувствительности СИ к влияющим величинам, которые тоже можно отнести к характеристикам погрешностей;
- динамические характеристики СИ;
- неинформативные параметры выходного сигнала СИ (предпочтительно рассматривать неинформативные параметры сигнала измерительной информации).

Поверка средств измерений — совокупность операций, выполняемых органами Государственной метрологической службы (другими уполномоченными на то органами, организациями) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерения установленным требованиям.

Метрологические характеристики находятся на основании сравнения поверяемого СИ с более точным СИ — рабочим эталоном. Основные требования к организации и порядку проведения поверки СИ приведены в правилах по метрологии ПР 50.2.006- 94, а также в рекомендациях МИ 187—86 и МИ 188—86.

ВИДЫ ПОВЕРКИ

Различают поверки: первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную, комплексную, поэлементную и выборочную (РМГ 29—99).

Определение. **Первичная поверка** — поверка, выполняемая при выпуске средства измерений из производства или после ремонта, а также при ввозе средства измерений из-за границы партиями, при продаже.

Определение. **Периодическая поверка** — поверка средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени.

Определение. **Внеочередная поверка** — Поверка средства измерений, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки.

Определение. **Инспекционная поверка** — поверка, проводимая органом государственной метрологической службы при проведении государственного надзора за состоянием и применением средств измерений.

Определение. **Комплектная поверка** — поверка, при которой определяют метрологические характеристики средства измерений, присущие ему как единому целому.

Определение. **Поэлементная поверка** — поверка, при которой значения метрологических характеристик средств измерений устанавливаются по метрологическим характеристикам его элементов или частей.

Определение. **Выборочная поверка** — поверка группы средств измерений, отобранных из партии случайным образом, по результатам которой судят о пригодности всей партии.