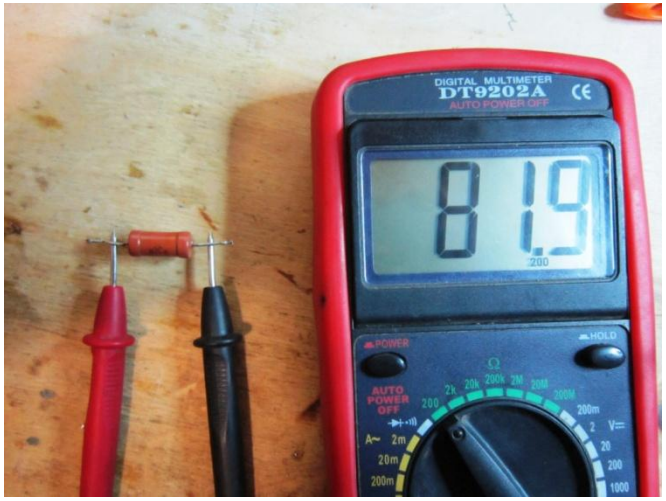
Тема 2. Виды и методы измерений. Средства измерений и их классификация

1. Виды измерений

а) По способу получения результата измерения:

- прямые,
- косвенные,
- совокупные
- совместные измерения.

Прямым называют измерение, при котором искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. Например, измерение напряжения вольтметром, фазового сдвига фазометром, сопротивления омметром и т. п.



Косвенное измерение характеризуется тем, что искомое значение физической величины находят по известной математической зависимости между этой величиной и физическими величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Если физическая величина *z*, значение которой нужно измерить, представляет собой функцию

$$z = f(x_1, x_2, ..., x_q),$$

где $x_1, x_2, ..., x_q$ – физические величины, подвергаемые прямым изменениям, и $B_1, B_2, ..., B_q$ – результаты прямых измерений физических величин $x_1, x_2, ..., x_q$, то результат A косвенного измерения находят из выражения

$$A = f(B_1, B_2, ..., B_q).$$

Например, коэффициент усиления усилителя вычисляют по измеренным значениям входного и выходного напряжений:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

Сопротивление резистора: R = U/I, где U – напряжение, I – сила тока.

Совокупные измерения — измерения одновременно нескольких **однородных** величин, когда значения этих величин находят **путем решения системы уравнений**, получаемых при измерениях различных сочетаний этих величин.

Простейшим примером таких измерений является определение сопротивлений R1 и R2 двух резисторов путем двух измерений сопротивления при их последовательном и параллельном соединении.

Определив: $R_{посл.} = R1 + R2$ *и*

$R_{пар.} = (R1 \cdot R2)/(R1 + R2)$,

можно найти значения R1 и R2.

Совместные измерения — проводимые одновременно измерения двух или нескольких **разнородных** величин для определения зависимости между ним**и**. Совместные измерения — это измерения зависимостей между величинами.

Пример 1. Определение зависимости сопротивления резистора от температуры

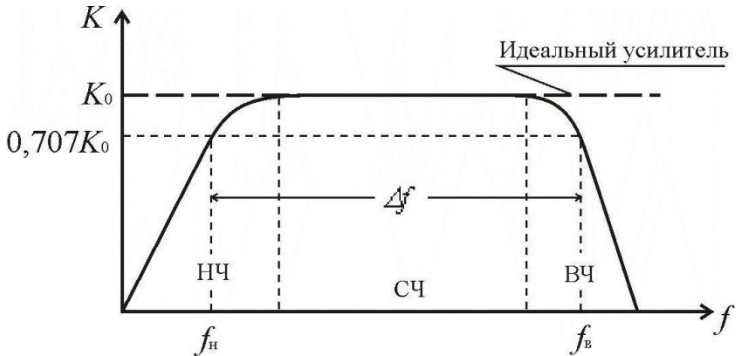
$$R_t = R_{20}[1+\alpha(t-20)+\beta(t-20)^2],$$

где R20 сопротивление резистора при t = 20°C; а, β — температурные коэффициенты.

Для определения величин R20 , а и β вначале измеряют сопротивление R_t резистора при трех различных значениях температуры (t1,t2,t3), затем составляют систему из трех уравнений, по которой находят параметры R20 , а и β:

$$R_{t_1} = R_{20}[1+\alpha(t_1-20)+\beta(t_1-20)^2],$$
$$R_{t_2} = R_{20}[1+\alpha(t_2-20)+\beta(t_2-20)^2],$$
$$R_{t_3} = R_{20}[1+\alpha(t_3-20)+\beta(t_3-20)^2].$$

Пример 2. Определение амплитудно-частотной характеристики усилителя



б) По временным характеристикам измерения подразделяются на

1) **статические,** при которых измеряемая величина остается неизменной во времени;

2) **динамические**, в процессе которых измеряемая величина изменяется.

в) По способу выражения результатов измерения подразделяются на

1) **абсолютные,** которые основаны на прямых или косвенных измерениях нескольких величин и на использовании констант и в результате которых получается абсолютное значение величины в соответствующих единицах;

2) **относительные**, которые не позволяют непосредственно выразить результат в узаконенных единицах, но позволяют найти отношение результата измерения к какой-либо одноименной величине с неизвестным в ряде случаев значением. Например, это может быть относительная влажность, относительное давление, удлинение и т. д.

Характерные примеры относительных измерений: измерение отношения напряжений или мощностей, исследование различных частотных характеристик электрических цепей и т.д.

При относительных измерениях широко используется внесистемная безразмерная единица — децибел (дБ), определяемая при сравнении напряжений по формуле

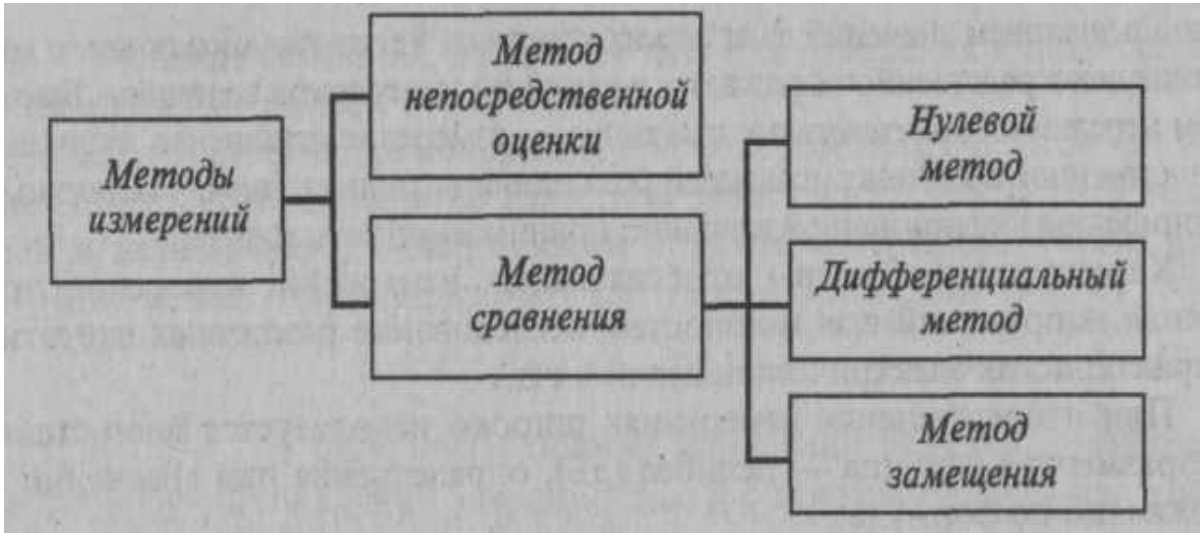
$$1\ \text{дБ}=20\lg(U_2/U_1),\ \text{при}\ U_2/U_1=10^{1/20}=1{,}122,$$

а при сравнении мощностей

$$1\ \text{дБ}=10\lg(P_2/P_1),\ \text{при}\ P_2/P_1=10^{1/10}=1{,}259.$$

2. Методы измерений

Метод измерений – совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

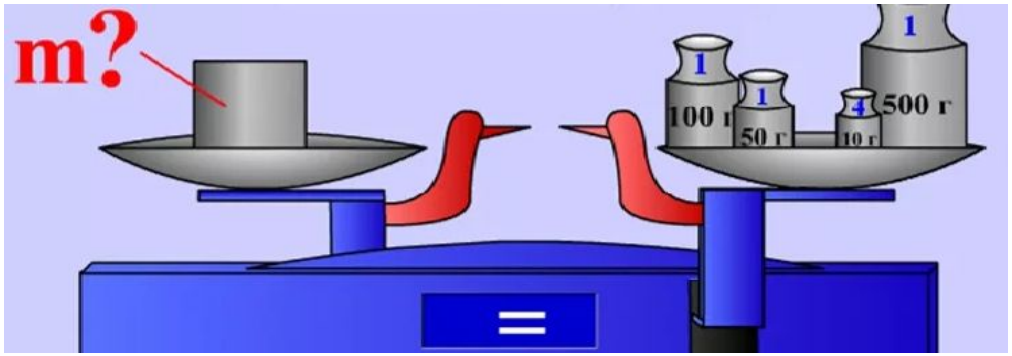


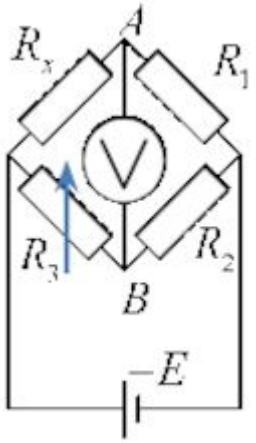
При **методе непосредственной оценки** численное значение измеряемой величины определяется непосредственно по показанию измерительного прибора (например, измерение напряжения с помощью вольтметра).

Метод сравнения — метод измерений, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Это может быть, например, измерение уровня напряжения постоянного тока путем сравнения с ЭДС нормального (эталонного) элемента.

Различают следующие разновидности метода сравнения:

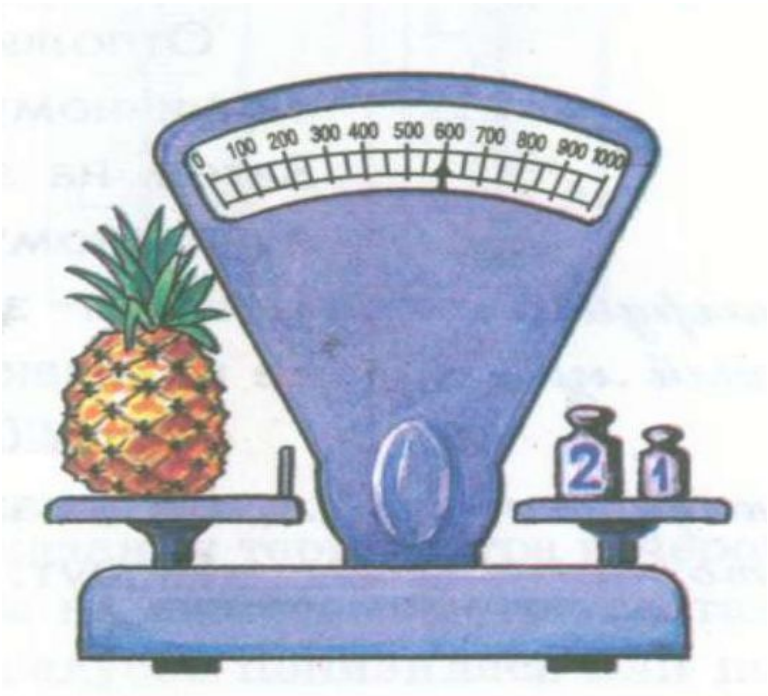
- *нулевой метод,* при котором действие измеряемой величины полностью уравновешивается образцовой; результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля.



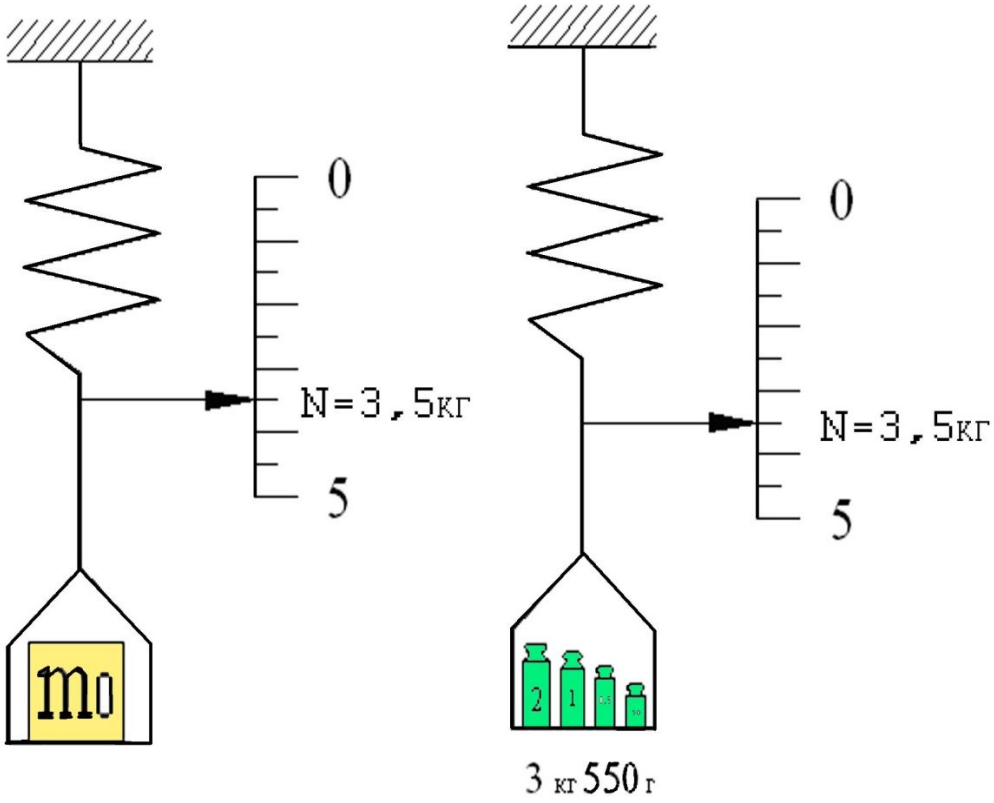


$$R_x = R\frac{R_1}{R_2}$$

•*дифференциальный метод,* когда измеряется разница между измеряемой величиной и близкой ей по значению известной эталонной (на пример, измерение электрического сопротивления методом неуравновешенного моста);



- *метод замещения,* при котором действие измеряемой величины замещается образцовой (например, с помощью последовательно проводимых во времени действий).

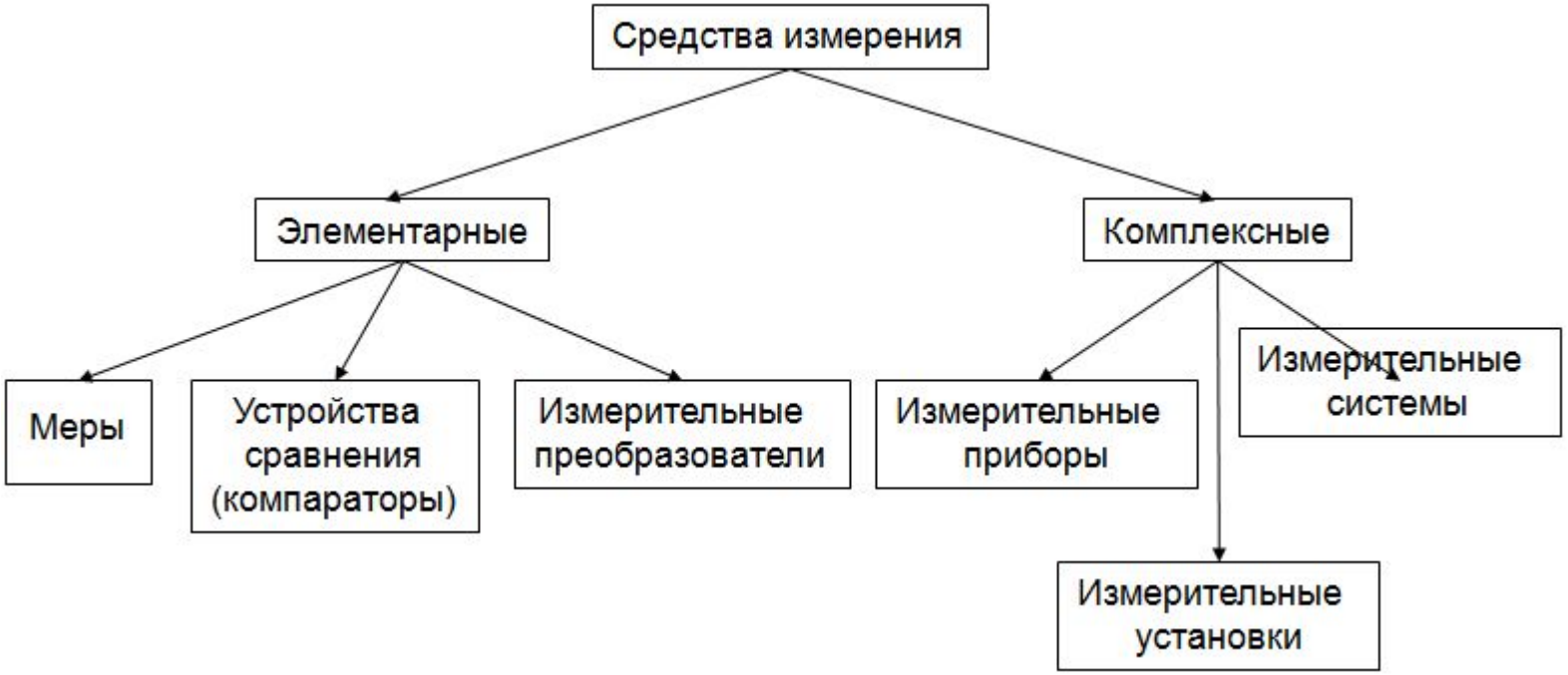


3. Средства измерений и их классификация

Средство измерений (СИ) - 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) в течение известного интервала времени.

Приведенное определение раскрывает суть СИ, заключающуюся, во-первых, в «умении» хранить (или воспроизводить) единицу ФВ; во-вторых, в неизменности размера хранимой единицы. Эти важнейшие факторы и обуславливают возможность выполнения измерения и отличают СИ от технического средства.

Классификация СИ
А) по функциональному назначению



• **Мера** - средство измерения, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения ФВ заданного размера (значения). В качестве меры в радиоизмерениях используют измерительный резистор (мера электрического сопротивления) и т.д. Меры бывают однозначными и многозначными:

- Однозначная мера воспроизводит физическую величину одного размера (например, постоянный резистор);

- Многозначная мера воспроизводит непрерывный ряд одноименных величин различного размера в определенном диапазоне (например, потенциометр, конденсатор переменной емкости).

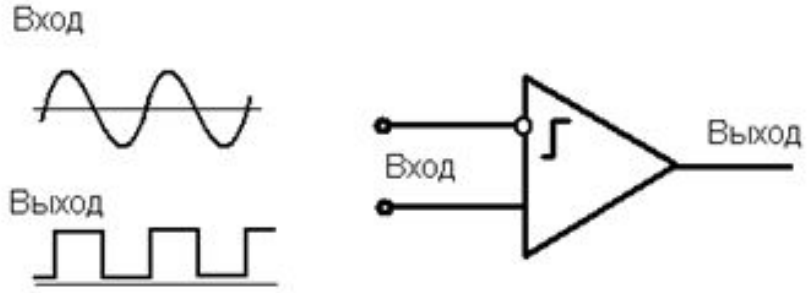
- Наборы и магазины мер воспроизводят дискретный ряд одноименных величин различного размера в определенном диапазоне (например, магазин сопротивлений).

• Однозначные меры

• Многозначные меры

• Наборы и магазины мер

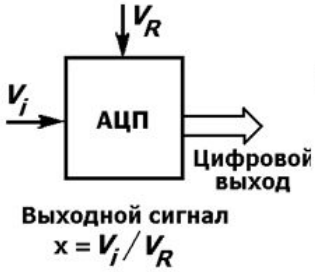
Устройство сравнения (компаратор) – это средство измерений, позволяющее сравнивать друг с другом меры однородных величин или же показания измерительных приборов.

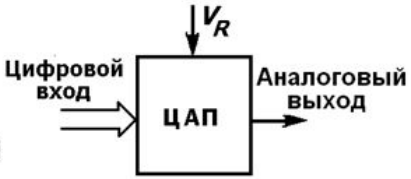


Измерительный преобразователь – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающийся непосредственному восприятию наблюдателем.

Аналоговые Аналого-цифровые Цифро-аналоговые

Термопара





Измерительный прибор – это средство измерения, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем, например, в виде цифрового отсчета на отсчетном устройстве.

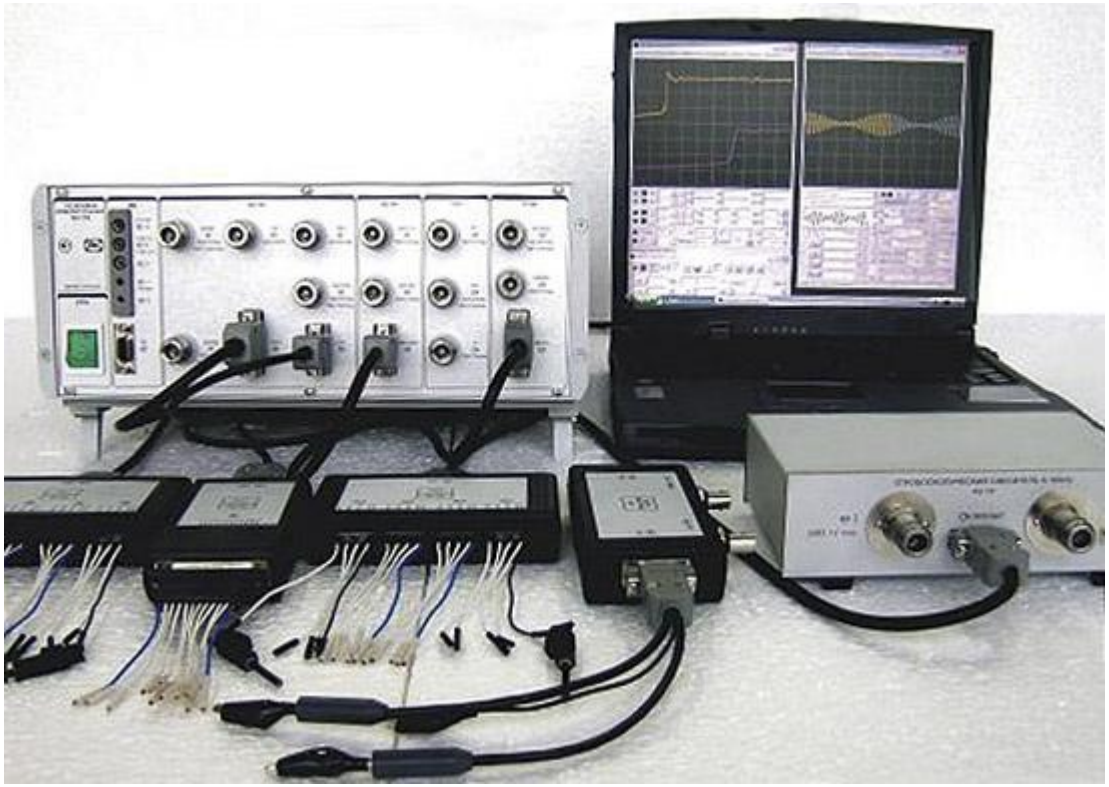
По способу отсчета значений измеряемых величин:

- Показывающие (аналоговые и цифровые) – только считывание показаний;
- Регистрирующие – считывание и регистрация показаний;
- Регулирующие – возможность управления технологическим процессом.

По способу преобразования измерительного сигнала:

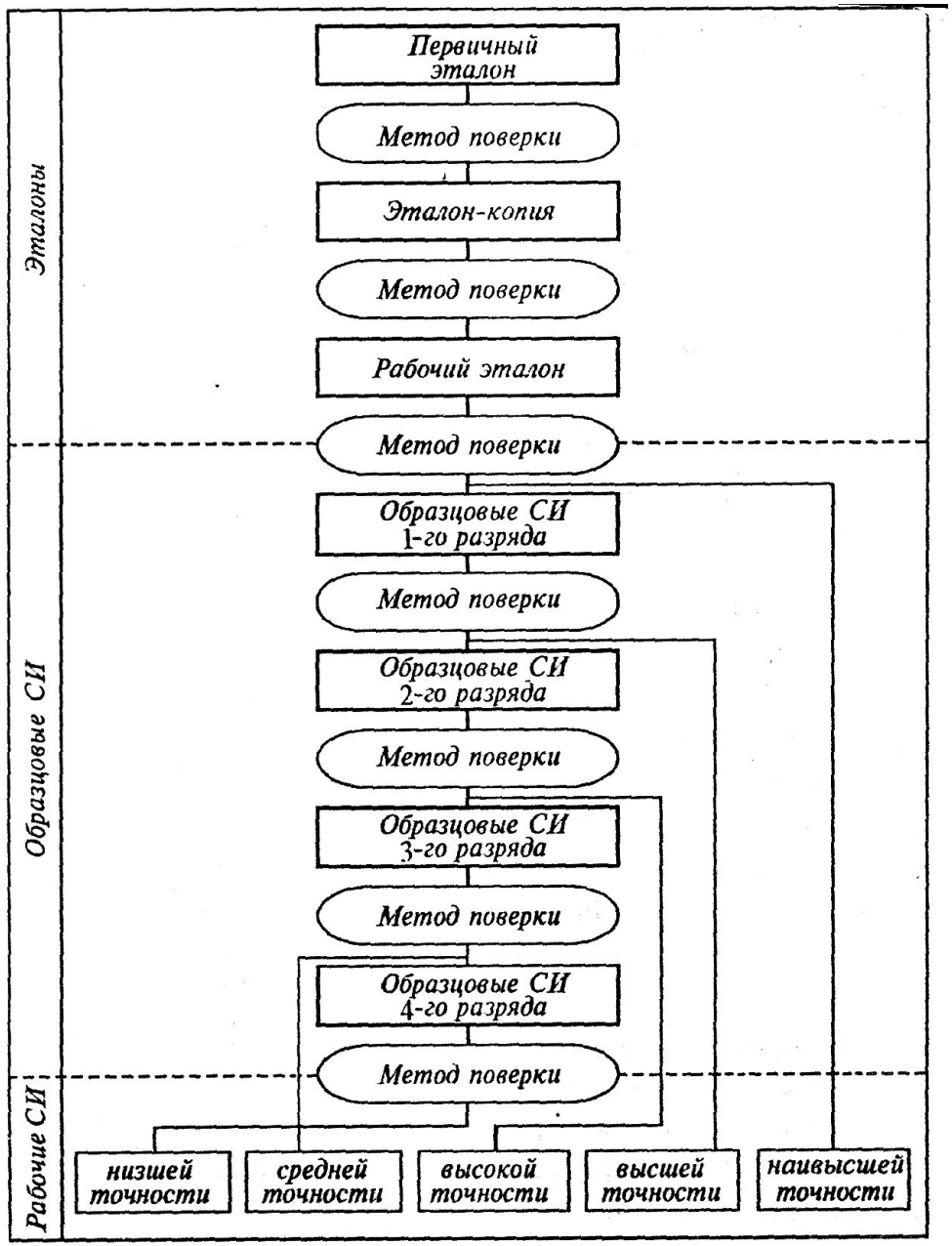
- Приборы прямого преобразования;
- Приборы уравновешивающего преобразования (приборы сравнения).

Измерительная установка **–** совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем и **расположенная в одном месте**.



Измерительная система – это совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных **в разных точках** контролируемого объекта с целью измерений одной или нескольких ФВ, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

Б) По месту в системе обеспечения единства измерений: эталоны, образцовые СИ, рабочие СИ



Эталон единицы физической величины – СИ (или комплекс СИ), предназначенное для хранения и воспроизведения единицы ФВ и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Эталонную базу Российской Федерации составляет совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющихся основой обеспечения единства измерения в стране.

Первичный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами этой же единицы) точностью.

Первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства называется **государственным первичным эталоном.** В состав государственных эталонов включаются СИ, с помощью которых воспроизводят и (или) хранят единицу ФВ, контролируют условия измерений и неизменность воспроизводимого или хранимого размера единицы. С понятием государственный эталон совпадает понятие **национальный эталон.** Термин национальный эталон применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащим отдельным государствам, с **международным эталоном** или при проведении так называемых круговых сличений эталонов ряда стран. Международные эталоны хранятся в международном бюро мер и весов.

Первичные эталоны являются очень дорогим инструментом, нагрузка на которые не должна быть большой. Поэтому для проверки сохранности первичных эталонов и обеспечение передачи размеров единиц всем применяемым в стране СИ используются вторичные эталоны.

Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы. Вторичные эталоны по метрологическому назначению делятся на эталоны-свидетели, эталоны-копии, эталоны сравнения и рабочие эталоны.

Эталон-свидетель – предназначен для проверки сохранности и неизменности государственного первичного эталона и замены его в случае порчи или утраты. В настоящее время только эталон килограмма имеет эталон-свидетель. Его основные назначения – обеспечить возможность контроля постоянства основного эталона.

Эталон сравнения – вторичный эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом. Примером эталона сравнения может служить нормальный элемент, используемый для сличения государственного эталона вольта с эталоном вольта международного бюро мер и весов.

Эталон-копия – вторичный эталон, предназначенный для передачи размеров единиц рабочим эталонам. Эталон-копия представляет собой копию государственного эталона только по метрологическому назначению, не всегда является его физической копией.

Рабочий эталон – эталон, предназначенный для передачи размера единицы образцовым СИ.

Б) Образцовое СИ – СИ, предназначенное для поверки рабочих средств измерения и признанное в качестве образцового в установленном порядке. Имеют четыре разряда: 1, 2, 3, 4.

В) Рабочее СИ – СИ, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим СИ. Рабочее СИ предназначено для измерения размеров величин, необходимых в разнообразной деятельности человека. **Подразделяются на СИ низшей, средней, высокой, высшей, наивысшей точности.**

4. Поверка средств измерений

Поверке подвергают СИ, используемые в сферах деятельности, где государственный метрологический контроль и надзор являются обязательным.

Поверка СИ **–** это установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Результатом поверки является:

- Подтверждение пригодности СИ к применению; В этом случае на СИ наносится поверительное клеймо – знак установленной формы, признающее годным СИ.
- Признание СИ непригодным к использованию.

Если СИ признано непригодным к использованию, то свидетельство о поверке и поверительные клейма аннулируются и выписывается свидетельство о непригодности. Аннулированные клейма должны содержать рисунок крестообразной формы, указывающий на прекращение действия поверительного клейма, нанесенного на средство измерений или техническую документацию.

В зависимости от целей и назначения результатов поверки СИ различают первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную и экспертную поверки.

Первичная поверка – поверка, выполняемая при выпуске СИ из производства или после ремонта, а также при ввозе СИ из-за границы партиями, при продаже.

Периодическая поверка – поверка СИ, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени. Межповерочные интервалы для периодической поверки устанавливаются нормативными документами по поверке в зависимости от стабильности того или иного СИ и продолжительностью от нескольких месяцев до нескольких лет. Необходимость поверки обусловлена возможностью утраты СИ метрологических показателей при эксплуатации или хранении.

Внеочередная поверка – поверка СИ, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки. Необходимость внеочередной поверки может возникнуть вследствие разных причин: ухудшение метрологических свойств СИ или подозрение в этом, нарушение условий эксплуатации, нарушение поверительного клейма и др.

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

Экспертная поверка проводится при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности СИ и пригодности их к использованию.

Основной метрологической характеристикой, определяемой при поверке, является погрешность.

Погрешность определяется на основании сравнения показаний поверяемого СИ и более точного рабочего эталона.

Поверка СИ осуществляется методами:

1) сличение поверяемого СИ с образцовым;

2) сличение поверяемого СИ при помощи устройства сравнения;

3) прямым измерением поверяемым СИ физической величины, воспроизводимой образцовой мерой;

4) измерение образцовым СИ величины, воспроизводимой мерой.

5. Калибровка средств измерения

Калибровка средств измерения – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного СИ и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого СИ.

Результаты калибровки позволяют определить действительные значения измеряемой величины, показываемые СИ, или поправки к его показаниям, или оценить погрешность этих средств. При калибровке могут быть определены и другие метрологические характеристики. Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на СИ, или свидетельством о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах. Свидетельство о калибровке представляет собой документ, удостоверяющий факт и результаты калибровки СИ, который выдается организацией, осуществляющей калибровку.

Отличие калибровки от поверки состоит в том, что поверка должна дать однозначный ответ о соответствии или несоответствии СИ установленным требованиям, а калибровка предусматривает определение действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности СИ к применению.

На основе результатов калибровки СИ может быть признано пригодным к применению в данном конкретном технологическом процессе, даже если его реальные метрологические характеристики вышли за допусковые значения, установленные при испытаниях.