



Раздел 2.

Технические измерения

«... наука начинается ... с тех пор, как начинают измерять; точная наука немыслима без меры...».
«В природе мера и вес суть главные орудия познания...»

Дмитрий Иванович Менделеев

ТЕМА 2.2 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ

- **Виды измерений**
- **Методы измерений**
- **Эталоны единиц физических величин:**
 - Поверочная схема;
 - Государственный, исходный эталоны;
 - Первичный и специальный эталоны;
 - Вторичные эталоны (эталон-свидетель, эталон-копия, эталон сравнения);
 - Рабочие разрядные эталоны
- **Рабочие средства измерений**

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

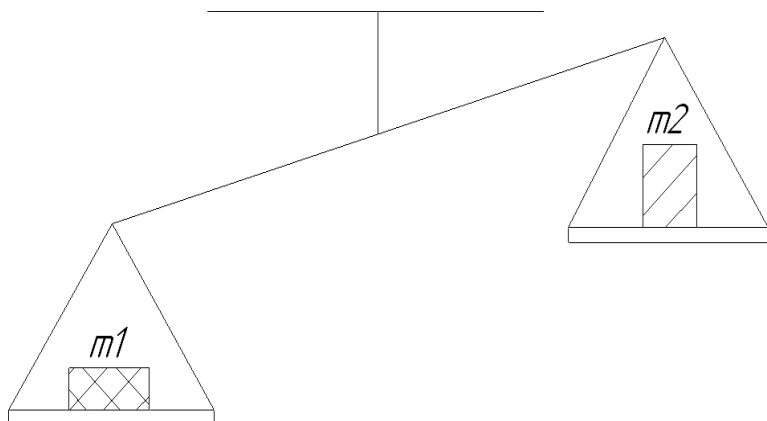
Измерение физической величины – это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Измерение физической величины – это нахождение значения физической величины опытным путём с помощью технического средства измерений.

Суть измерения заключается в **сравнении**.

Измерение – суть сравнение размеров опытным путём.

Вариантов сравнения между собой двух размеров всего три:



$$Q_i > Q_j \quad (1)$$

$$Q_i - Q_j = \Delta Q_{ij} \quad (2)$$

$$\frac{Q_i}{Q_j} = x_{ij} \quad (3)$$

ТРИ ПРАВИЛА СРАВНЕНИЯ ДВУХ РАЗМЕРОВ

Измерение по правилу (1) позволяет ответить на вопрос: какой из двух размеров больше другого (либо они равны), но ничего не говорит о том, на сколько больше, или во сколько раз.

$$Q_i > Q_j$$

Измерение по правилу (2) позволяет получить ответ на вопрос о том, на сколько один размер больше или меньше другого (в частном случае они могут оказаться равными).

$$Q_i - Q_j = \Delta Q_{ij}$$

Измерение по правилу (3) представляет собой сравнение неизвестного размера $Q_i = Q$ с узаконенной единицей измерения, $Q_j = [Q]$ с целью определения числового значения q измеряемой физической величины, которое показывает, во сколько раз неизвестный размер больше размера единицы, или на сколько единиц он больше нуля.

$$\frac{Q_i}{Q_j} = x_{ij}$$

ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Разновидности (виды) измерений

от способа получения числового значения

- **прямые**
(измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно)
- **косвенные**
(определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной)
- **совокупные**
(производимые одновременно измерения нескольких одноименных (однородных) величин, при которых искомые значения величин определяют путём решения системы уравнений, получаемых при измерении этих величин в различных сочетаниях)
- **совместные**
(производимые одновременно измерения двух или нескольких неодноименных величин для определения зависимости между ними. Результат измерений получают путем решения системы уравнений)

по числу (количеству) измерений

- **однократные**
(измерение, выполненное один раз)
- **многократные**
(измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений (> 3))

по характеристике точности

- **равноточные**
(ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений и в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью)
- **неравноточные**
(ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях)

Разновидности (виды) измерений

по предназначению

- **технические**
(измерения, выполняемые техническими (рабочими) средствами измерений – РСИ)
- **метрологические**
(измерения, выполняемые с помощью эталонов, образцовых средств измерений)

по способу представления результатов

- **абсолютные**
(измерения выполняемые посредством прямого, непосредственного измерения основной величины и (или) применения физической константы)
- **относительные**
(измерения, при которых вычисляется отношение однородных величин, причем
 - числитель является сравниваемой величиной, а
 - знаменатель – базой сравнения единиц).Результат измерения будет зависеть от того, какая величина принимается за базу сравнения)

по отношению к изменению измеряемой величины (по типу изменения величины)

- **статические**
(измерение постоянной, неизменной физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения)
- **динамические**
(измерение изменяющейся, непостоянной физической величины, для получения результата измерения которой необходимо учитывать это изменение)

1) По способу получения результатов измерений (числового значения):

- **прямые;**
- **косвенные;**
- **совокупные;**
- **совместные.**

При прямом измерении искомое значение величины находят **непосредственно** из опытных данных (например, измерение диаметра детали штангенциркулем).

При косвенном измерении искомое значение величины определяют **на основании известной зависимости** между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям (например, измерение площади круга по формуле $S = \pi \cdot R^2$, где радиус находят прямым измерением).

Совокупные – это такие измерения, в которых значения измеряемых величин находят по данным повторных измерений одной или нескольких **одноимённых величин** (при различных сочетаниях мер или этих величин) путём решения системы уравнений.

Совместными называют измерения двух или нескольких **не одноимённых величин**, производимые **одновременно** с целью нахождения функциональной зависимости между величинами (например, зависимости длины тела от температуры).

2) По числу (количеству) измерений:

- **однократные;**
- **многократные.**

Однократные – измерение, выполненное один раз.

Многократные – измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений (> 3).

3) По характеристике точности:

- **равноточные;**
- **неравноточные.**

Равноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений и в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

Неравноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

4) По назначению:

- **технические измерения;**
- **метрологические измерения.**

Технические – измерения, выполняемые техническими (рабочими) средствами измерений – РСИ.

Метрологические – измерения, выполняемые с помощью эталонов, образцовых средств измерений.

5) По способу выражения (представления) результатов измерений:

- **абсолютные;**
- **относительные.**

Абсолютные – измерения выполняемые посредством прямого, непосредственного измерения основной величины и (или) применения физической константы.

Относительные – измерения, при которых вычисляется отношение однородных величин, причем:

- числитель является сравниваемой величиной, а
- знаменатель – базой сравнения единицей).

Результат измерения будет зависеть от того, какая величина принимается за базу сравнения.

При **относительных измерениях** величину сравнивают с одноименной, играющей роль единицы или принятой за исходную (например, измерение диаметра вращающейся детали по числу оборотов соприкасающегося с ней аттестованного ролика).

6) По характеру зависимости измеряемой величины от времени:

- статические измерения;
- динамические измерения.

Статические измерение постоянной, неизменной физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения (**измеряемая величина остаётся постоянной во времени**).

Динамические измерение изменяющейся, непостоянной физической величины, для получения результата измерения которой необходимо учитывать это изменение (**измеряемая величина изменяется и является непостоянной во времени**).

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

- 1) **Метод измерений**
- 2) **Принцип измерений**
- 3) **Погрешность измерений**
- 4) **Точность измерений**
- 5) **Правильность измерений**
- 6) **Достоверность измерений**

1) МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

1) МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

Взаимодействие СИ с объектом при измерении основано на физических явлениях, совокупность которых составляет **принцип измерений**, а совокупность приемов использования принципов и СИ называется **методом измерений**.

Метод измерений – это способ или комплекс способов, посредством которых производится измерение данной величины, т. е. сравнение измеряемой величины с ее мерой согласно принятому принципу измерения

Классификация методов измерения:

1. По способам получения искомого значения измеряемой величины:

- 1) **прямой метод** (*осуществляется при помощи прямых, непосредственных измерений*);
- 2) **косвенный метод**.

2. По приемам измерения:

- 1) **контактный метод измерения** (*основан на непосредственном контакте какой-либо части измерительного прибора с измеряемым объектом*);
- 2) **бесконтактный метод измерения** (*измерительный прибор не контактирует непосредственно с измеряемым объектом*).

3. По приемам сравнения величины с ее мерой:

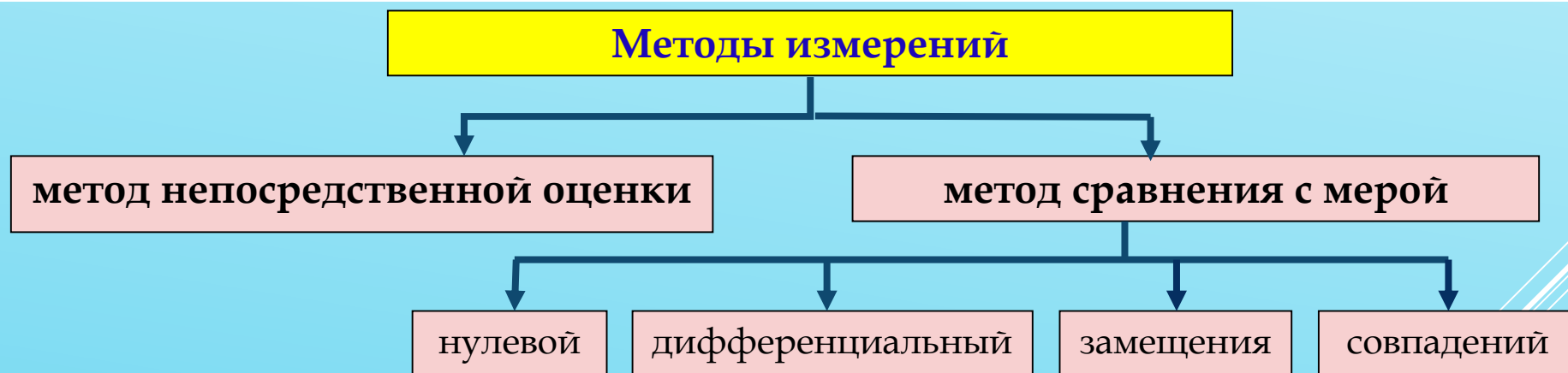
- 1) **метод непосредственной оценки** (*основан на применении измерительного прибора, показывающего значение измеряемой величины*);
- 2) **метод сравнения с ее единицей (метод сравнения с мерой)** (*основан на сравнении объекта измерения с его мерой*).

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Метод измерений – это приём или совокупность приёмов сравнения измеряемой физической величины с её единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Метод измерений обычно обусловлен устройством средств измерений и определяет способы решения измерительной задачи по принятой **методике выполнения измерений (МВИ)**.

Под **методикой** понимают технологию выполнения измерений (совокупность операций) с целью наилучшей реализации метода.



Метод непосредственной оценки – это такой метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (*измерение длины штангенциркулем, массы пружинными весами, давления манометром и т.п.*).

Метод сравнения с мерой – это такой метод, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (*измерение зазора между деталями щупом, длины концевыми мерами, массы рычажными весами с помощью гирь и т.п.*).

МЕТОД СРАВНЕНИЯ С МЕРОЙ

Метод сравнения с мерой имеет разновидности, которые часто рассматриваются как самостоятельные методы измерений:

- ▶ *нулевой;*
- ▶ *дифференциальный;*
- ▶ *метод замещения;*
- ▶ *метод совпадений.*

Нулевой метод – это метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля (**прибор сравнения**, или **компаратор**, - измерительный прибор, предназначенный для сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно) (*измерение электросопротивления мостом с полным его уравниванием*).

Дифференциальный метод – это метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор воздействует разность между измеряемой величиной и известной, воспроизводимой мерой (*измерение длины сравнением с образцовой мерой на компараторе*).

Как в **нулевом**, так и в **дифференциальном** методе могут быть выделены методы **противопоставления, замещения и совпадения**.

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 (*измерение массы на равноплечных весах на 2-х чашках – измеряемой массы и уравнивающих гирь*).

Метод замещения – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой (*взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов*).

Метод совпадения – метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов (*измерение длины штангенциркулем с нониусом, когда наблюдают совпадение отметок на основной шкале и нониусе*).

Метод непосредственной оценки с отчетом показаний по шкале прибора характеризуется тем, что лицу, осуществляющему измерение, не требуется каких либо вычислений, кроме умножения показаний прибора на некоторую постоянную величину, соответствующему данному прибору.

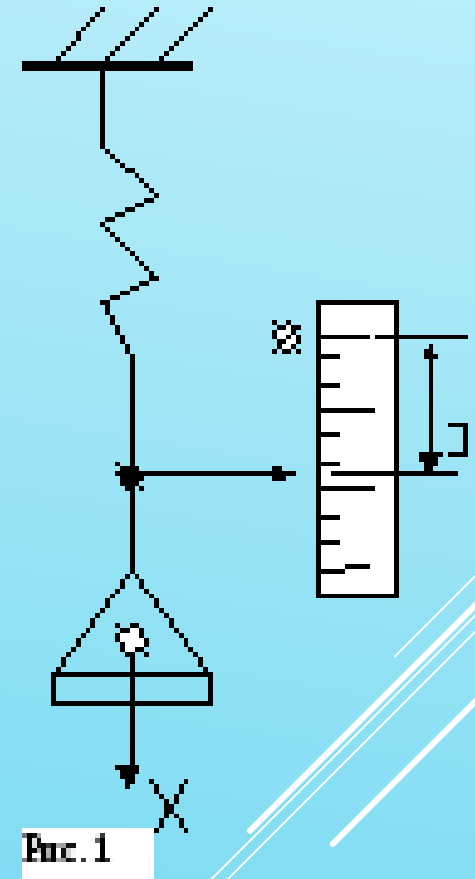
Пример, взвешивание груза X на пружинных весах (рис. 1). Масса груза здесь определяется на основе измерительного преобразования по значению δ деформации пружины.

Достоинство:

- процесс измерения характеризуется быстротой, что делает его часто незаменимым для практического использования.

Недостаток:

- точность измерения обычно оказывается невысокой из-за воздействия влияющих величин и необходимости градуировки шкал приборов.



Нулевой метод измерения характеризуется равенством воздействий, оказываемых измеряемой величиной и мерой, на прибор, используемый для сравнения.

Различают нулевые методы:

- *противопоставления (полного противопоставления) (компенсационный)*
- *замещения (полного замещения);*
- *совпадения.*

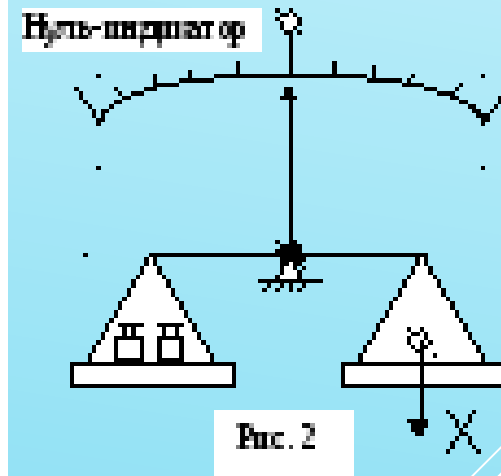
Пример, взвешивание груза X на равноплечных весах (рис.2), когда масса груза определяется массой гирь, уравновешивающих воздействие груза на рычаг весов. Состояние равновесия определяется по положению указателя нуль-индикатора, который в этом случае должен находиться на нулевой отметке. Весы при таком измерении выполняют функцию компаратора.

Достоинство:

- данный метод используется для измерения самых разнообразных физических величин и, как правило, обеспечивает большую точность измерения, чем метод непосредственной оценки, за счет уменьшения влияния на результат измерения погрешностей средства измерений, которое в данном случае осуществляют только сравнение воздействий, создаваемых измеряемой величиной и мерой.

Недостаток:

- необходимо иметь большое число мер, различных значений (т.е. необходимо воспроизводить любое значение известной физической величины без существенного понижения точности). Как правило, это связано с существенными трудностями.



Компенсационный метод измерений (нулевой метод противопоставления) – это разновидность нулевого метода измерения, применяемый в тех случаях, когда важно измерить физическую величину, не нарушая процесса, в котором она наблюдается.

При подключении измерительного устройства, реализующего компенсационный метод, к объекту измерения на этом устройстве *создается действие, направленное на встречу действию, создаваемому изучаемым явлением.*

При этом создаваемое в измерительном устройстве явление изменяется до тех пор, пока не будет достигнута *полная компенсация действия* изучаемого явления на измерительное устройство.

По размеру физической величины, создающей компенсирующее явление, судят о размере измеряемой физической величины.

При условии полной компенсации изучаемое явление протекает в объекте так же, как оно протекает в случае, когда к объекту не подключено измерительное устройство.

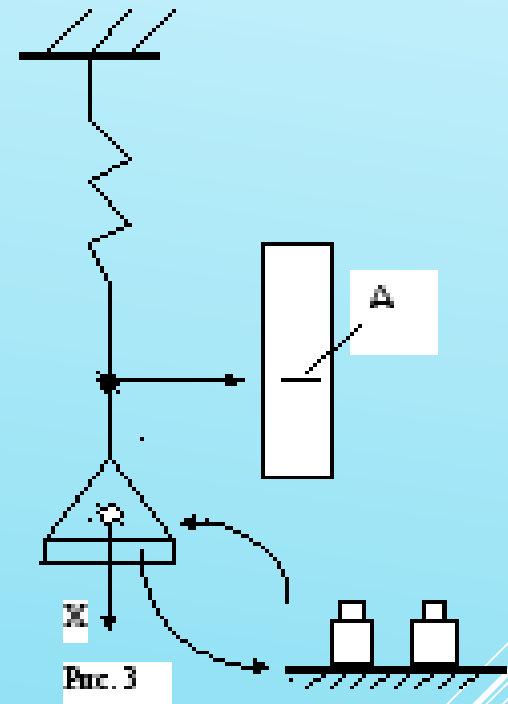
Нулевой метод полного замещения состоит в том, что измеряемая физическая величина и мера последовательно воздействует на измерительный прибор.

При этом значение меры подбирают таким, чтобы ее воздействие на измерительный прибор было равно воздействию измеряемой физической величины.

Пример, измерение массы груза (рис. 3). Здесь на пружинные весы устанавливают груз **X** и делают отметку **A** на шкале как результат его взвешивания. При этом показания пружинных весов принципиально можно и не считывать. Затем снимают груз. На чашку устанавливают такой набор гирь, который обеспечивает такую же деформацию пружины, как и груз **X**. О равенстве деформаций судят по установке стрелки напротив отметки **A**.

Достоинство:

- метод применяется в тех случаях, когда производятся точные измерения параметров, т.к. он позволяет практически исключить влияние изменений характеристик используемого средства измерений (в рассматриваемом случае – изменение характеристик пружины) на результаты измерения.



Нулевой метод совпадения состоит в совпадении сигналов двух периодических процессов, характеристика одного из которых изменяется, а другого – используется в качестве меры.

Пример, измерение числа оборотов вала с помощью стробоскопа – вал периодически освещается вспышками света, и частоту вспышек подбирают так, чтобы метка, нанесенная на вал, казалась наблюдателю неподвижной.

Дифференциальный метод измерений характеризуется тем, что с помощью измерительного прибора методом непосредственной оценки измеряется *разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой*.

Достоинство:

Этот метод позволяет получить высокоточные результаты даже при использовании для измерения указанной разности относительно грубых средств измерений.

Недостаток:

Реализация дифференциального метода возможна только при условии наличия высокоточной меры, близкой по значению к измеряемой величине.

Различают **дифференциальные методы:**

- *противопоставления (неполного противопоставления);*
- *замещения (неполного замещения);*
- *совпадения.*

Пример метода неполного противопоставления: взвешивание на равноплечих весах (рис. 4): действие груза **X** уравнивается действием гири, служащей мерой, и силой упругой деформации пружины. По существу в данном случае **по величине деформации пружины, значение которой может быть отсчитано по шкале,** измеряется разность воздействия груза и гири на пружину. Так определяют разность их масс. Массу же груза определяют после взвешивания как сумму массы гири и показаний, считанных по шкале.

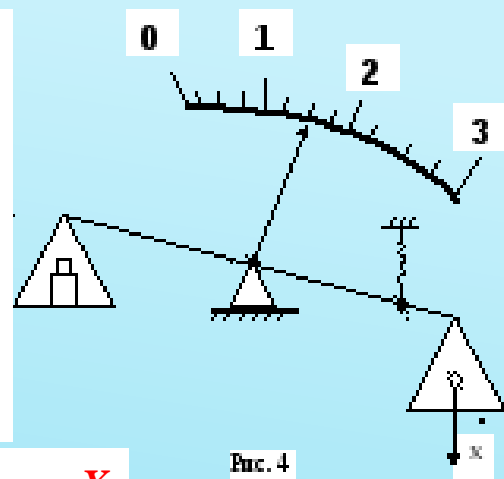


Рис. 4

Пример дифференциального метода замещения (рис. 5) взвешивания груза X на пружинных весах в том случае, когда из имеющегося набора гирь не удастся составить сочетание, позволяющее добиться такого показания весов, при котором стрелка устанавливается на отметку **A**, соответствующую показанию весов при установке на них измеряемого груза **X**.

Предположим, что при установке на весы подобранного набора гирь стрелка весов устанавливается на отметке шкалы **B**. Когда к подобранному набору добавляются гири с наименьшей массой, стрелка устанавливается на отметке шкалы **C**. В данном случае **замещение получается неполным**. Для определения массы груза прибегают к интерполяции, с помощью которой по известному значению массы наименьшей гири и числу делений шкалы между отметками **B** и **C** рассчитывают значение массы груза и массы подобранного набора гирь, а затем определяют массу груза.

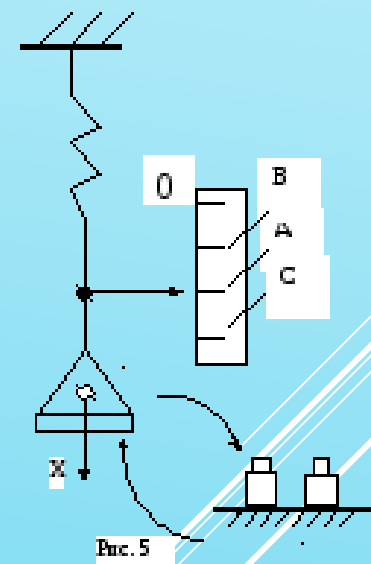


Рис. 5

Сущность **дифференциального метода совпадения** состоит в том, что **совпадение сигналов двух периодических процессов является неполным**. При этом изменяется характеристика периодического процесса, представляющего собой результат взаимодействия названных выше двух периодических процессов. Результат измерения определяется так же, как во всех дифференциальных методах.

- 2) ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЙ
- 3) ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ
- 4) ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

2) ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЙ

Принцип измерений – физическое явление или эффект, положенные в основу измерений.

Принцип измерений – это некое физическое явление или их комплекс, на которых базируется измерение.

Например, измерение температуры основано на явлении расширения жидкости при ее нагревании (ртуть в термометре).

3) ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность измерения – это разность между результатом измерения величины и настоящим (действительным) значением этой величины.

Погрешность, как правило, возникает из-за недостаточной точности средств и методов измерения или из-за невозможности обеспечить идентичные условия при многократных наблюдениях

4) ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Точность измерений – это характеристика, выражающая степень соответствия результатов измерения настоящему значению измеряемой величины

Количественно точность измерений равна величине относительной погрешности в минус первой степени, взятой по модулю

- 5) ПРАВИЛЬНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ**
- 6) ДОСТОВЕРНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ**

5) ПРАВИЛЬНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Правильность измерения – это качественная характеристика измерения, которая определяется тем, насколько близка к нулю величина постоянной или фиксировано изменяющейся при многократных измерениях погрешности (систематическая погрешность).

Данная характеристика зависит, как правило, от **точности средств измерений**.

6) ДОСТОВЕРНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Основная характеристика измерений – это достоверность измерений.

Достоверность измерений – это характеристика, определяющая степень доверия к полученным результатам измерений.

По данной характеристике измерения делятся на:

- достоверные и
- недостоверные.

Достоверность измерений зависит того, известна ли вероятность отклонения результатов измерения от настоящего значения измеряемой величины.

Если же достоверность измерений не определена, то результаты таких измерений, как правило, не используются.

Достоверность измерений ограничена сверху погрешностью измерений

ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭТАЛОНОВ

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

Классификация, назначение и общие требования к созданию, хранению и применению устанавливает **ГОСТ 8.057-80 «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения»**.

СВОЙСТВА ЭТАЛОНА

Неизменность

Воспроизводимость

Сличаемость

СВОЙСТВА ЭТАЛОНОВ:

Неизменность – свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного интервала времени, а все изменения, зависящие от внешних условий, должны быть строго определенными функциями величин, доступных точному измерению.

Воспроизводимость – возможность воспроизведения единицы ФВ (на основе ее теоретического определения) с наименьшей погрешностью для данного уровня развития измерительной техники.

Сличаемость – возможность обеспечения сличения с эталоном других средств измерения, нижестоящих по поверочной схеме, и в первую очередь вторичных эталонов с наивысшей точностью для данного уровня развития техники измерения.

Поверка СИ – установление органом государственной метрологической службы пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

СИСТЕМА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН

Эталон – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы величины с целью передачи размера другим средствам измерений данной величины, выполненное и утвержденное в установленном порядке

Классификация эталонов

ЭТАЛОН

первичный

эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране точностью

государственный

официально утвержденный в качестве исходного для страны первичный эталон

Основные требования к первичному эталону:

- ❖ **Неизменность** – способность удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного интервала времени;
- ❖ **Воспроизводимость** – воспроизведение единицы с наименьшей погрешностью для данного уровня развития измерительной техники);
- ❖ **Сличаемость** – способность не претерпевать изменений и не вносить каких-либо искажений при проведении сличений.

вторичный

эталон, получающий размер единицы путем сличения с первичным эталоном

эталон-сравнения

эталон-свидетели

эталон-копии

рабочие эталоны
(разряды - 1,2,3,4)

Рабочие средства измерения
(РСИ)



НАИВЫСШАЯ
ТОЧНОСТЬ

ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ
физической величины

Первичный эталон

Вторичный эталон

Рабочий эталон

Рабочий эталон
1-го разряда

Рабочий эталон
2-го разряда

Средней
точности

Рабочий эталон
3-го разряда

Низшей
точности

Наивысшей
точности

Высшей
точности

Рабочий эталон
4-го разряда

Рабочие средства измерений (РСИ)

Поверочная
схема
передачи
размеров
от
эталонов к
рабочим
средствам
измерения

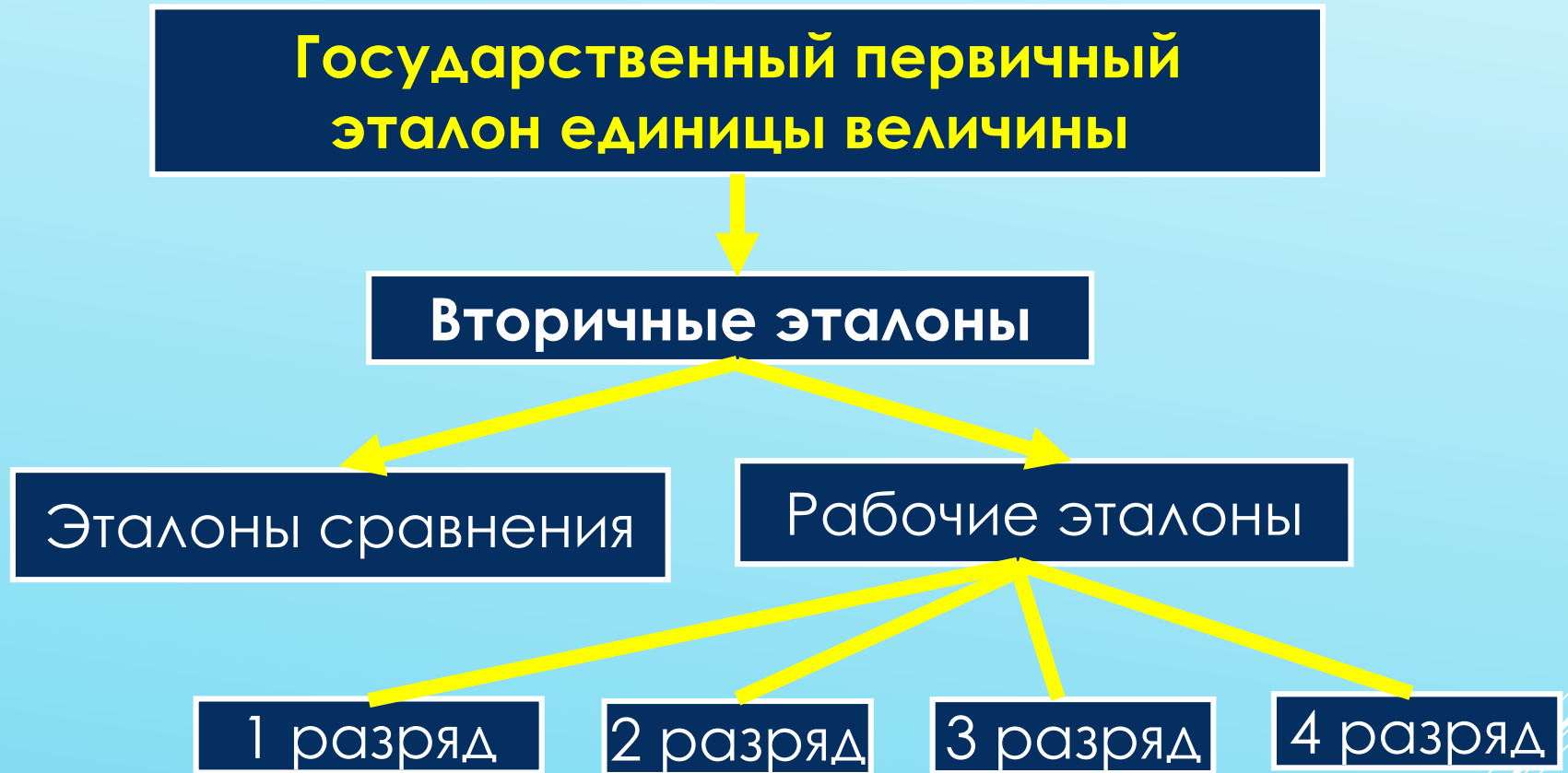
УРОВЕНЬ ТОЧНОСТИ ЭТАЛОНОВ

Эталонная база страны – совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющаяся основой обеспечения единства измерений в стране.

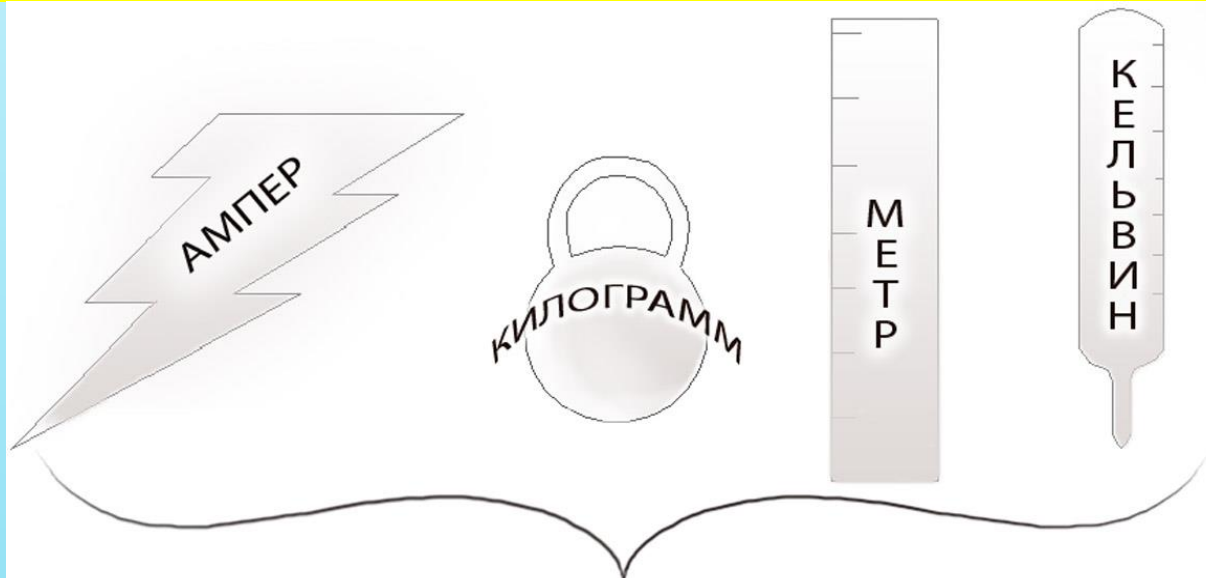


Структура эталонной базы Российской Федерации

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭТАЛОНОВ



В настоящее время в Российской Федерации **123 государственных первичных эталона**, из них **6 эталонов основных единиц ФВ** системы СИ



ВНИИМ им. Д.И. Менделеева



ВНИИОФИ



ВНИИФТРИ

ЭТАЛОНЫ ОСНОВНЫХ ЕДИНИЦ ФВ

- ▶ **Эталон единицы длины** – **метра** – включает источники эталонного излучения $He - Ne / J^2$ – лазеры, стабилизированные по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде-127, установку для измерения отношений длин волн источников излучения и интерференционный компаратор с лазерным интерференционным рефрактометром.

Метр определен как – длина пути, проходимого светом в вакууме за интервале времени ***1/299 792 458 доли секунды*** (точно).

- ▶ **Эталон единицы массы** – **килограмм** – представляет собой цилиндр из сплава платины (**90 %**) и иридия (**10 %**), у которого диаметр и высота примерно одинаковы (***около 39 мм***).
- ▶ **Эталон единицы времени** – **секунда** – соответствует определению секунды как интервала времени, в течение которого совершается ***9 192 631 770*** периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями ($F = 4, m_F = 0$ и $F = 3, m_F = 0$) основного состояния атома ***цезия-133*** в отсутствии внешних полей.

➤ Эталон единицы силы постоянного электрического тока – ампер – состоит из двух комплексов:

- в первом комплексе используется способ воспроизведения размера *единицы силы тока* (1 мА и 1 А) с использованием косвенных измерений силы тока $I = U/R$, причем размер единицы электрического напряжения U – *вольт* – воспроизводится с помощью квантового эффекта Джозефсона, а размер единицы электрического сопротивления R – *Ом* – с помощью квантового эффекта Холла;
- во втором комплексе, воспроизводящем *силу постоянного тока* в диапазоне A , используется многозначная мера силы тока, включающая меру линейно изменяющегося электрического напряжения с набором герметизированных конденсаторов, прибор для измерения напряжения, прибор для измерения времени и компенсирующее устройство.

▶ Ампер определен как – сила не изменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового поперечного сечения, расположенных в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы между этими проводниками силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$, на каждый метр длины.

▶ Эталон единицы температуры – *один градус Кельвина* – определен как $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

Тройная точка воды ($273,16 \text{ К}$ – равновесие между газообразной (насыщенный газ), жидкой (вода) и твердой (лед) фазами воды) может быть воспроизведена с погрешностью $0,0001^\circ\text{С}$ и выше температуры таяния льда – $0,01^\circ\text{С}$.

▶ **Эталон единицы силы света** – **кандела** – представляет собой силу света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой **$540 \cdot 10^{12}$ Гц**, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет **$1/683$ Вт/ср**.

▶ **Единица количества вещества** – **моль** – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в **углероде-12** массой **0,012 кг** (**1 моль углерода имеет массу $0,002$ кг, 1 моль кислорода – $0,032$ кг, а 1 моль воды – $0,018$ кг**).

К настоящему времени ни в одной метрологической лаборатории мира **эталон моля не создан**. На пути создания такого эталона встали большие теоретические проблемы, одной из которых является недостаточная четкость определения этой единицы. В настоящее время проводятся теоретические и экспериментальные исследования на основе квантовой теории с целью создания эталона единицы количества вещества на базе фундаментальных физических констант.

В соответствии с **Конституцией Российской Федерации** и **законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений»** государственные эталоны находятся в ведении Российской Федерации (*ранее функции собственника выполнял Госстандарт России, ныне - Росстандарт*).

Сегодня в России **7 специализированных научно-исследовательских организаций**, определенных в качестве национальных метрологических институтов и подведомственных Росстандарту.

Размер единицы передается **«сверху вниз»**, от более точных СИ к менее точным «по цепочке»:

первичный эталон – вторичный эталон – рабочий эталон 0-го разряда – рабочий эталон 1-го разряда... – рабочее средство измерений (РСИ).

РСИ обладает различной точностью измерений:

- **наиболее точные** РСИ при поверке (калибровке) получают размер от вторичных эталонов или рабочих эталонов 1-го разряда;
- **наименее точные** – от эталонов низшего разряда (3-го или 4-го).

Методы передачи информации о размере единиц

- ❑ **непосредственного сравнения** измеряемой величины и величины, воспроизводимой рабочим эталоном;
- ❑ **непосредственного сличения** (т.е. сличения меры с мерой или показаний двух приборов).

Достоверная передача размера единиц во всех звеньях метрологической цепи от эталонов или от исходного образцового средства измерений к рабочим средствам измерений производится в определенном порядке, приведенном в **поверочных схемах**.

Поверочная схема – это утвержденный в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам (РСИ).

Правильная передача размера единиц физических величин во всех звеньях метрологической цепи осуществляется посредством **поверочных схем**, т.е. они устанавливают **порядок передачи** размера ФВ от эталона РСИ.

Поверочная схема – это нормативный документ, который устанавливает соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона к рабочим СИ с указанием методов и погрешности, и утвержденный в установленном порядке.

Основные положения о поверочных схемах приведены в **ГОСТ 8.061-80 “ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение”** и в рекомендациях **МИ 83-76 “Методика определения параметров поверочных схем”**.

В соответствии с **РМГ 29–99** поверочные схемы делятся на: **государственные и локальные**.

Государственная поверочная схема распространяется на все средства измерения данной физической величины, имеющиеся в стране.

Она разрабатывается в виде государственного стандарта, состоящего из чертежа поверочной схемы и текстовой части, поясняющей чертеж.

Локальная поверочная схема распространяется на все средства измерения данной физической величины, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (в организации). подлежащие поверке в отдельном органе метрологической службы.

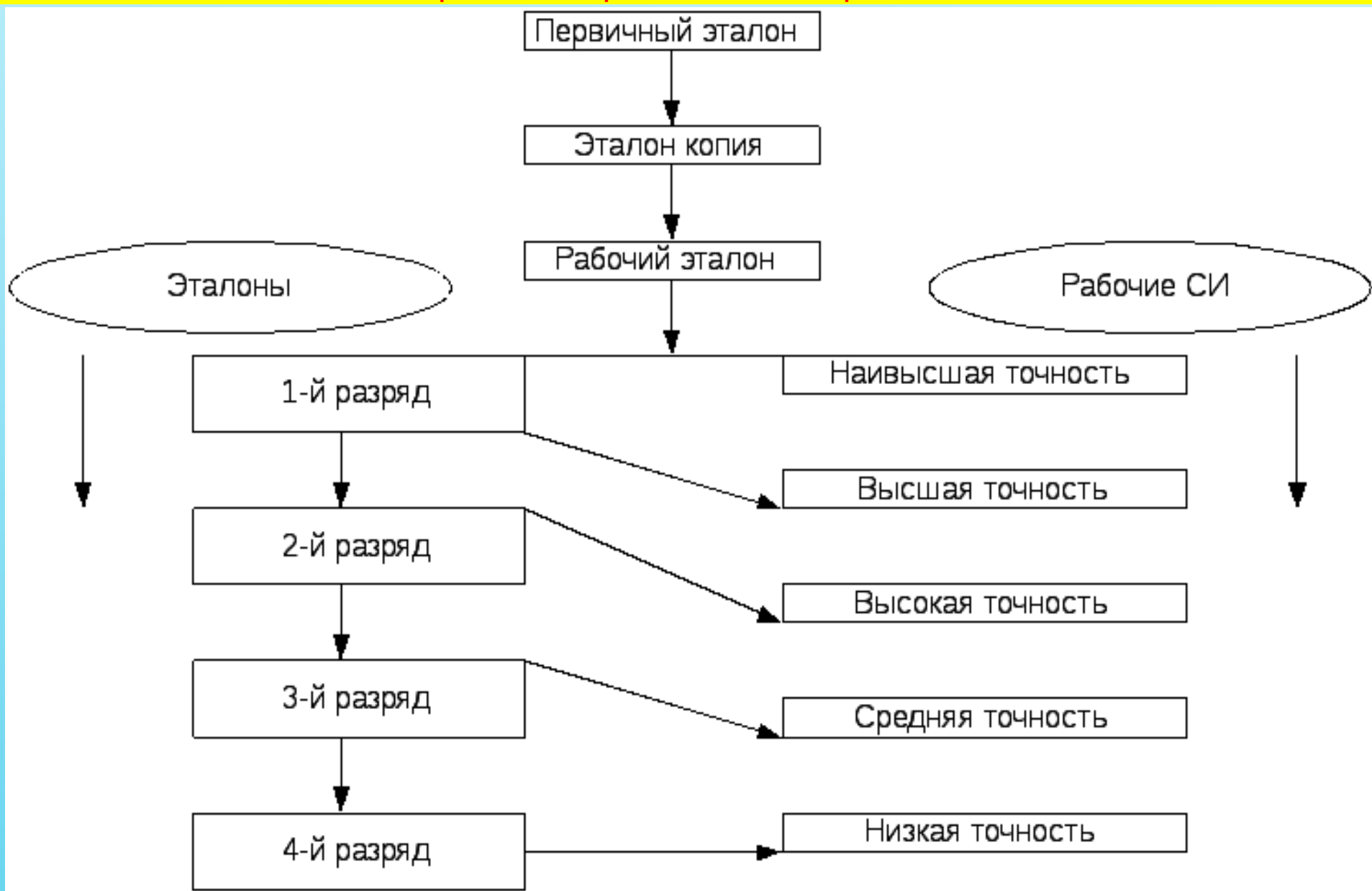
Локальная поверочная схема не должны противоречить государственной поверочной схеме и могут быть составлены при отсутствии государственной поверочной схемы.

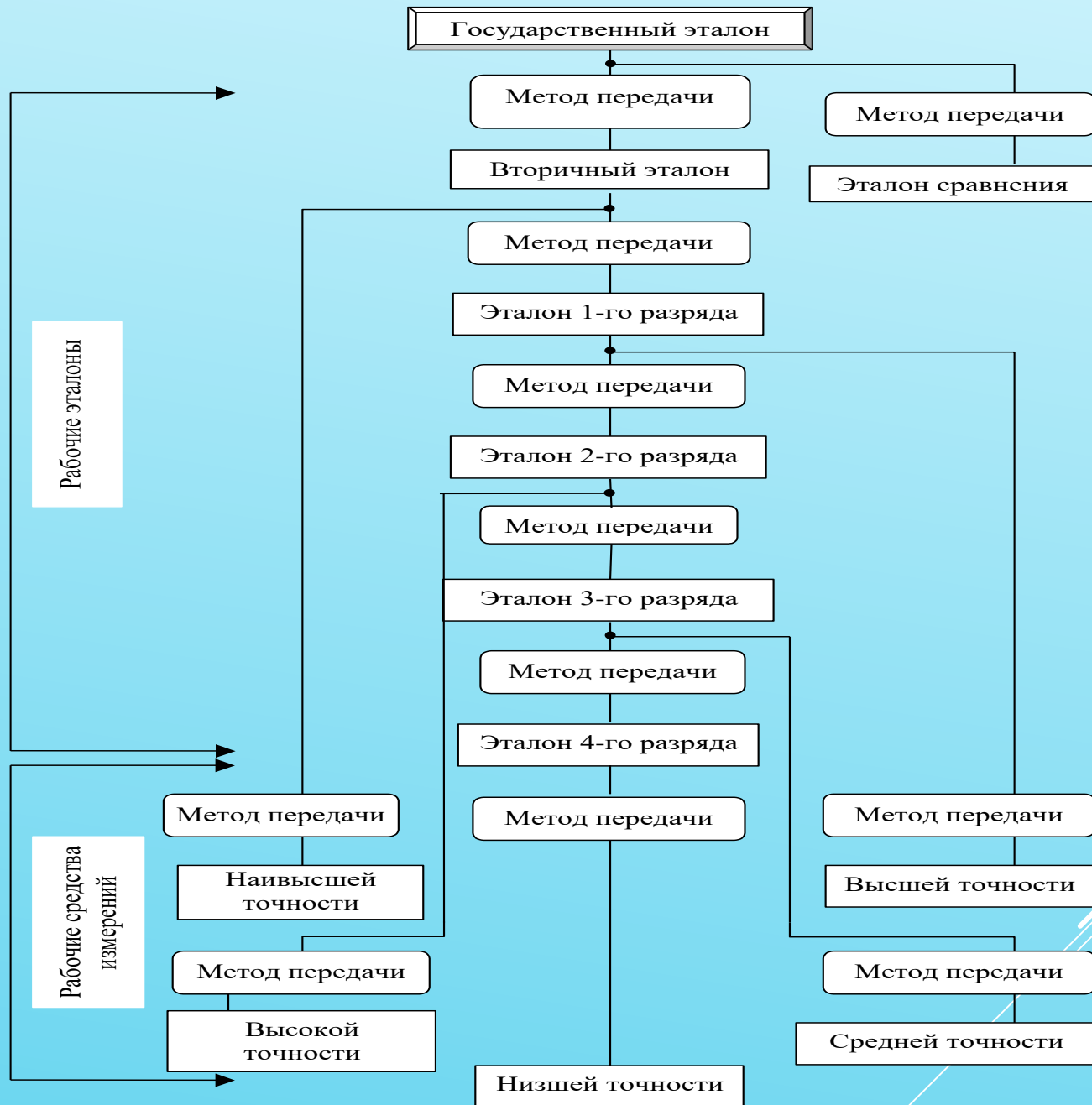
Поверочная схема может устанавливать передачу размера одной или нескольких взаимосвязанных физических величин. Для нескольких величин, а также величин, существенно отличающейся по диапазонам измерений, поверочную схему допускается разделять на части.

На чертежах поверочной схеме должны быть указаны:

- наименование средств измерения и методов поверки;
- номинальные значения физических величин или их диапазоны;
- допускаемые значения погрешности средств измерения;
- допускаемые значения погрешностей методов поверки.

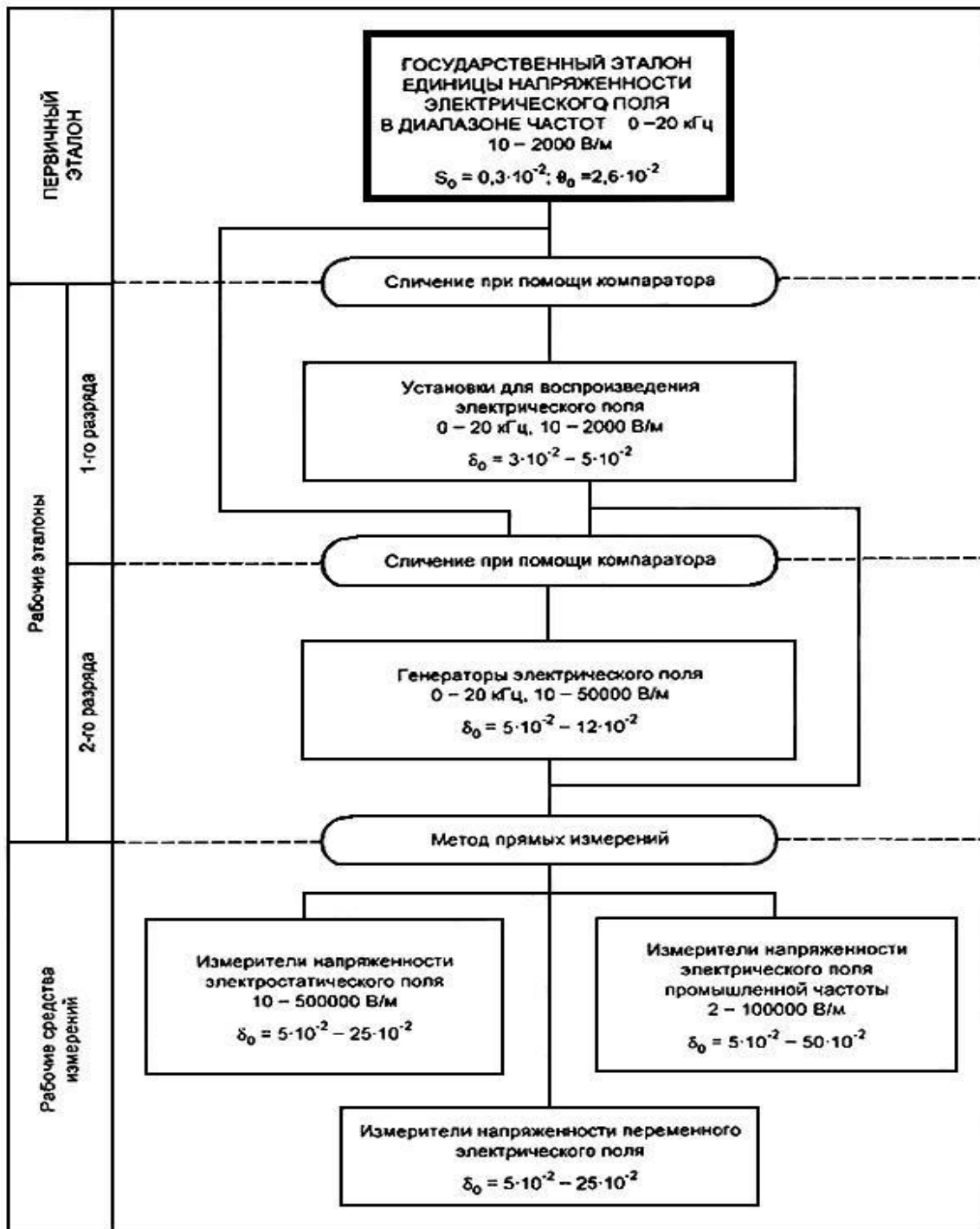
Принципиальная схема передачи размеров единиц от первичного эталона рабочим средствам измерений





Государственная поверочная схема

Государственная поверочная схема для средств измерений напряженности электрического поля в диапазоне частот 0 – 20 кГц ГОСТ Р 8.564-96



Государственная поверочная схема для средств измерений удельной теплоемкости твердых тел в диапазоне температур 273,15 ÷ 700 К

ГОСТ 8.141-75

