

## ВВЕДЕНИЕ

### 1 ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

#### 1.1 Основные термины и определения

#### 1.2. Классификация измерений

#### 1.3. Классификация методов измерения

#### 1.4. Классификация погрешностей

#### 1.5 Случайные погрешности и обработка результатов наблюдений

##### 1.5.1 Распределения случайных величин и их числовые характеристики

1.5.2 Оценка погрешностей результатов прямых измерений с многократными наблюдениями

##### 1.5.3 Оценка погрешностей косвенных измерений

#### 1.6 Систематические погрешности измерения

##### 1.6.1 Классификация и обнаружение систематических погрешностей

##### 1.6.2 Суммирование неисключенных систематических погрешностей

#### 1.7 Оценка суммарной погрешности результата измерения

1.8 Оценка погрешностей измерений с однократными наблюдениями

#### 1.9 Формы представления результатов измерений

#### 1.10 Метрологическое обеспечение измерений

1.10.1 Структура метрологического обеспечения в Республике Беларусь

##### 1.10.2 Передача размера единиц электрических физических величин

## ВВЕДЕНИЕ

Производство промышленной продукции сопровождается большим количеством всевозможных измерений. Подсчитано, что доля затрат на измерительную технику составляет не менее 15% затрат на оборудование в машиностроении и свыше 25% - в радиоэлектронике, самолетостроении, химической промышленности и некоторых других отраслях. Кроме того, учитывая стремительное развитие информационных технологий, возникает необходимость в стандартизации и сертификации программных продуктов, а также метрологической аттестации их.

### 1 ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

#### 1.1 Основные термины и определения

**Метрология** – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Метрология является теоретической основой измерений.

В метрологии, как в любой другой науке, недопустимо неоднозначное толкование терминов. Терминологию в области метрологии регламентирует СТБ П 8021-2003 «Метрология. Основные термины и определения» (РМГ 29-99).

Для каждого понятия установлен один стандартизированный термин.

В метрологии можно выделить три раздела: теоретическая, прикладная и законодательная метрология.

**Теоретическая метрология** – раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии, куда входит развитие общей теории измерений и теории погрешностей; создание новых методов измерений и разработка способов исключения или уменьшения погрешностей; создание и совершенствование систем единиц физических величин; создание и совершенствование системы эталонов; создание и совершенствование научных основ передачи размеров единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений.

**Законодательная метрология** – раздел метрологии, относящийся к деятельности, направленной на обеспечение единства и необходимой точности измерений, требующий регламентации со стороны государства. К сфере действия законодательной метрологии относится создание и совершенствование системы государственных стандартов, которые устанавливают правила, требования и нормы, определяющие организацию и методику проведения работ по обеспечению единства и точности измерения; организация и функционирование соответствующей государственной службы, а также реализация и проверка соблюдения государственных законодательных актов, касающихся метрологии и метрологических работ.

**Прикладная метрология** – раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии.

Одним из основополагающих понятий в области метрологии является понятие **измерения** – совокупности 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. **Физическая величина (ФВ)** – это одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общие в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальная для каждого из них. При этом подразумевается, что выполнено требование **единства измерений** – состояния измерений, при котором их результаты выражены в единицах измерений, допущенных к применению в Республике Беларусь, и точность измерений находится в установленных границах с заданной вероятностью.

Организационные и правовые основы единства измерений в Республике Беларусь определяют Закон Республики Беларусь от 5 сентября 1995 г. «Об обеспечении единства измерений» и Закон Республики Беларусь от 20 июля 2006 г. №163-З «О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений». Они направлены на защиту прав и законных интересов граждан и государства от последствий неточных и неправильно выполненных измерений.

Законодательство Республики Беларусь об обеспечении единства измерений основывается на Конституции республики Беларусь и состоит из этого закона, актов Президента Республики Беларусь и иных актов законодательства Республики Беларусь.

Основными принципами обеспечения единства измерений являются:

- приоритетное применение единиц измерений Международной системы единиц;
- применение национальных эталонов единиц величин;
- прослеживаемость результатов измерений до единиц измерений Международной системы единиц, воспроизводимых национальными эталонами единиц величин и (или) международными эталонами единиц величин;
- открытость и доступность информации в области обеспечения единства измерений, за исключением информации, отнесенной в установленном порядке к категории информации с ограниченным доступом;
- гармонизация национальных и международных требований от обеспечения единства измерений.

Государственное регулирование и управление в области обеспечения единства измерений осуществляется президентом Республики Беларусь, Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь и иными государственными органами.

Согласно Закону, на территории республики Беларусь применяются единицы измерений Международной системы единиц и внесистемные единицы измерений, допущенные к применению в Республике Беларусь. При осуществлении внешнеторговой деятельности характеристики и параметры экспортируемых товаров могут быть выражены в единицах измерений, установленных в договоре.

**Единица измерения ФВ** – ФВ фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1, и применяемое для количественного выражения однородных с ней ФВ.

Как уже указывалось ранее, согласно Закону Республики «О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений», для возможности сравнения результатов измерений, выполненных в разное время и в разных местах, в республике Беларусь установлена Международная система единиц СИ. Применение этой системы единиц регламентируют также межгосударственный стандарт ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы физических величин, а с 1 января 2010 г. вступает в действие технический регламент ТР РБ 2007/003/ВУ «Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь».

Единицы измерения подразделяются на основные и производные.

**Основная единица** – единица основной ФВ в данной системе единиц.

**Производная единица** – единица производной ФВ системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами и уже определенными производными.

К применению приняты 7 основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, кандела, Кельвин, моль) и 17 производных. К этому списку добавляются также угловые единицы – градус, радиан, стерadian. Важным является понятие **размерности ФВ** – выражения в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных ФВ в различных степенях и отражающее связь данной ФВ с физическими

величинами, принятыми в данной системе величин за основные, и с коэффициентом пропорциональности, равным единице.

Кроме основных и производных единиц, в радиотехнике широко применяется внесистемная единица **бел**, при помощи которой определяются относительные значения усиления, ослабления, нелинейных искажений, неравномерности характеристик. В целях оптимизации обозначений используется ее кратная единица **децибел** (дБ).

$$1\text{дБ} = 10\lg \frac{P_1}{P_2} \quad \text{при} \quad \frac{P_1}{P_2} = 10^{1/10} = 1,259, \quad \text{где } P_1, P_2 - \text{одноименные}$$

энергетические величины (мощность, энергия).

$$1\text{дБ} = 20\lg \frac{U_1}{U_2} \quad \text{при} \quad \frac{U_1}{U_2} = 10^{1/20} = 1,22, \quad \text{где } U_1, U_2 - \text{одноименные}$$

«силовые» величины (ток, напряжение, напряженность поля).

Для выражения количественного различия между одноименными величинами используют понятие **размера ФВ** – количественной определенности единицы ФВ, воспроизводимой или хранимой средством измерений. В связи с этим можно сказать, что **целью измерения** является определение размера величины, причем результат измерения должен выражаться числом.

Значение нуля для ряда случаев является условным.

Выражение размера ФВ в виде некоторого числа принятых для него единиц называется **значением ФВ**.

Отвлеченное число, входящее в значение ФВ, называется **числовым значением ФВ**. В зависимости от размера выбранной единицы будет изменяться числовое значение ФВ, тогда как размер этой величины будет одним и тем же.

Требование соблюдения единой системы единиц ФВ предполагает выполнение условия **единообразия средств измерений** – состояния средств измерений, характеризующегося тем, что они проградуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства (и характеристики) соответствуют нормам.

## 1.2. Классификация измерений

Информация, полученная в процессе измерений, называется **измерительной**. Можно выделить следующие классификационные признаки измерений:

- способ получения измерительной информации;
- характер поведения измеряемой величины;
- способ выражения результатов;
- условия, определяющие точность измерений.

В зависимости от **условий, определяющих точность результата**, выделяют следующие виды измерений:

1) измерения максимально возможной точности, достижимой при существующем уровне техники:

- **эталонные измерения**, при проведении которых достигается максимально возможная точность воспроизведения размера ФВ;

- **измерения универсальных физических постоянных** (заряда электрона, скорости света и т.д.);

- **астрономические измерения**.

Границы погрешностей в данном случае рассчитываются по специальным методикам;

2) **контрольно-поверочные измерения** – измерения, погрешность которых не должна превышать некоторого заданного значения. Заданная точность обеспечивается применением специальных средств измерений (СИ), называемых рабочими эталонами, и специальных методик измерения;

3) **технические (рабочие) измерения**, в которых погрешность результата измерения определяется характеристиками СИ.

СИ, применяемые для этих измерений, называются **рабочими**.

**По способу получения измерительной информации** различают следующие виды измерений:

- **прямое измерение** - это измерение, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно;

- **косвенное измерение** – определение искомого значения ФВ на основании результатов прямых измерений ФВ, функционально связанных с искомой величиной;

- **совокупные измерения** – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при прямых измерениях этих величин в различных сочетаниях;

- **совместные измерения** – проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними.

**По способу выражения результатов** измерения подразделяются на абсолютные и относительные.

**Абсолютное измерение** – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использование значений физических констант.

Результат измерений выражается непосредственно в единицах ФВ.

**Относительное измерение** – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Величина, полученная в результате относительных измерений, может быть или безразмерной, или выраженной в относительных логарифмических единицах (бел, октава, декада) и других относительных единицах.

**В зависимости от характера поведения измеряемой величины** различают статические и динамические измерения.

**Статическое измерение** – измерение ФВ, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

**Динамическое измерение** – измерение изменяющейся по размеру ФВ.

В свою очередь динамические измерения могут быть **непрерывными** (если технические средства позволяют непрерывно следить за значениями измеряемой величины) и **дискретными** (если значения измеряемой величины фиксируются только в отдельные моменты времени).

### 1.3. Классификация методов измерения

Измерения базируются на определенных принципах.

Под **принципом измерения** понимают физическое явление или эффект, положенное в основу измерений.

**Метод измерений** – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой ФВ с её единицей в соответствии с реализованным принципом.

Различают два основных метода измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения.

**Метод непосредственной оценки** – метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему устройству средства измерений. Иногда этот метод называют методом прямого преобразования.

**Метод сравнения** (с мерой) – метод измерения, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Метод сравнения может реализовываться в следующих модификациях:

1) **нулевой метод** (компенсационный) – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля;

2) **дифференциальный метод** – 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;

3) **метод совпадений** – метод, при котором разность измеряемой и известной величин измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов;

4) **метод противопоставления** – метод, при котором измеряемая и известная величины одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами.

В зависимости от метода измерений и свойств применяемых средств измерений все измерения могут выполняться либо с однократными, либо с многократными наблюдениями.

**Наблюдение** – операции, проводимые при измерении и имеющие целью своевременно и правильно произвести отсчет.

Результат наблюдения всегда имеет случайный характер (это единичная экспериментальная операция).

Всякое измерение необходимо предварительно обдумать, составить план проведения измерений. В связи с этим в теории измерений вводится понятие **методики выполнения измерений** – совокупности правил и процедур выполнения измерений, которые обеспечивают получение результатов измерений, точность которых находится в установленных границах с заданной вероятностью. Порядок проведения измерений определяется **алгоритмом измерения** – предписанием о порядке выполнения операций, обеспечивающих измерение искомого значения ФВ.

В процессе измерений или установки параметров источников сигналов оператор снимает отсчеты или показания.

**Отсчет** – это фиксация значения величины или числа по показывающему устройству измерительного прибора в заданный момент времени.

**Показание** – физическая величина, соответствующая отсчету. Показание получается в результате умножения отсчета на переводной множитель.

#### 1.4. Классификация погрешностей

Любое измерение всегда выполняется с некоторой погрешностью, которая вызывается несовершенством средств и методов измерений, непостоянством условий наблюдения, недостаточным опытом экспериментатора и т.д.

**Погрешность результата измерения** – отклонение результата измерения  $X$  от истинного (действительного) значения измеряемой величины  $Q$ :

$$\Delta = X - Q.$$

**Истинное значение ФВ** – значение ФВ, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую ФВ. Так как истинное значение ФВ  $Q$  на практике чаще всего неизвестно, при расчетах применяют так называемое **действительное значение  $X_0$**  – значение ФВ, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

**В зависимости от характера проявления** погрешности имеют следующие составляющие:

1) **случайная погрешность** – составляющая погрешности результата измерения, измеряющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же ФВ;

2) **систематическая погрешность** – составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ;

3) **грубая погрешность (промах)** – погрешность результата отдельного измерения, которая при данных условиях существенно отличается от ожидаемой.

Все эти погрешности проявляются одновременно.

**В зависимости от характера влияния на результат измерения:**

1) **аддитивные** – погрешности, значения которых не зависят от значения измеряемой величины;

2) **мультипликативные** – погрешности, значения которых изменяются с изменением измеряемой величины.

Они могут быть и систематическими, и случайными.

**В зависимости от источника возникновения:**

1) **методические** – возникающие из-за несовершенства методов измерений и обработки их результатов;

2) **инструментальные (аппаратурные)** – определяются погрешностями применяемых средств измерений;

3) **внешние** – обусловленные отклонением одной или нескольких влияющих величин от нормальных значений (Т, влажность, магнитные поля и т.д.);

4) **субъективные (личные)** – обусловленные индивидуальными особенностями экспериментатора.

Количественно погрешность измерения может быть выражена в формах **абсолютной, относительной или приведенной погрешностей**.

**Абсолютная погрешность** – погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины:

$$\Delta = X - Q = X - X_0. \quad (1.1)$$

Однако, поскольку истинное значение измеряемой величины остается неизвестным, на практике можно найти лишь приближенную оценку погрешности измерения.

**Относительная погрешность** находится как отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины, а если истинное значение измеряемой величины неизвестно, то приближенной оценкой относительной погрешности будет отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

$$\delta = \frac{\Delta}{Q} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta}{X_0} \cdot 100\%. \quad (1.2)$$

Наряду с понятием «погрешность» широко применяют понятие «точность».

**Точность** – это характеристика качества измерений, отражающая близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Численно точность измерения находится как величина, обратная модулю относительной погрешности измерения:

$$\varepsilon = \frac{1}{|\delta|}. \quad (1.3)$$

Чем меньше относительная погрешность, тем выше точность, и наоборот.

**Приведенная погрешность** определяется отношением абсолютной погрешности измерения к некоторому условному нормирующему значению, которое является постоянной величиной для данного измерительного прибора (например пределу измерения):

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%. \quad (1.4)$$

## 1.5 Случайные погрешности и обработка результатов наблюдений

### 1.5.1 Распределения случайных величин и их числовые характеристики

Вследствие того, что результат измерения  $X$  содержит случайную погрешность  $\Delta$ , он сам является случайной величиной.

Основной характеристикой случайной величины является **функция распределения вероятностей**, которая устанавливает связь между возможными значениями случайной величины и вероятностями их появления при многократных измерениях.

Существуют две формы представления этой функции: интегральная и дифференциальная.

**Интегральной функцией распределения** результата наблюдений является функция  $F(X)$  – вероятность того, что результат наблюдения  $X$  окажется меньше некоторого текущего значения  $x$ :  $F(X) = P\{X < x\}$ .

Это положительная неубывающая функция (рисунок 1.1):

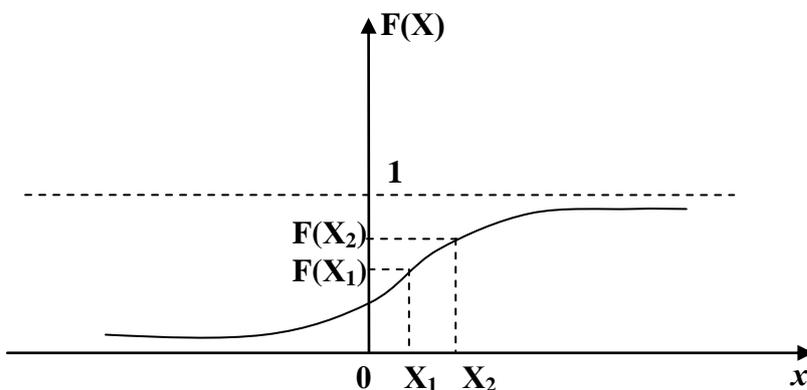


Рисунок 1.1 – Интегральная функция распределения результатов наблюдений

**Основное свойство этой функции** заключается в следующем: вероятность того, что случайная величина принимает значения в интервале  $\{X_1, X_2\}$ , равна разности значений функции на концах интервала:

$$P\{X_1 \leq x \leq X_2\} = F(X_2) - F(X_1). \quad (1.5)$$

Если обозначить приращение  $X_2 - X_1 = \Delta X$ , то одинаковым приращениям  $\Delta X$  соответствуют различные значения приращения вероятности  $\Delta F(X)$ . В связи с этим можно ввести понятие плотности распределения вероятностей случайной величины, **или плотности вероятностей**, которая будет иметь следующий вид:

$$f(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta F(x)}{\Delta x} = \frac{dF(x)}{dx} = F'(x). \quad (1.6)$$

Это дифференциальная форма представления функции распределения вероятностей  $F(X)$ .

В интегральной форме

$$F(x) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx. \quad (1.7)$$

Вероятность попадания случайной величины в интервал  $\{x_1, x_2\}$  будет равна интегралу от плотности распределения вероятностей:

$$P(x_1 \leq x \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx. \quad (1.8)$$

Функции распределения достаточно полно могут быть определены своими числовыми характеристиками, к которым относятся начальные и центральные моменты.

Начальным моментом 1 порядка является математическое ожидание случайной величины:

$$\hat{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1.9)$$

где  $n$  – количество наблюдений.

В большинстве случаев начальный момент 1 порядка совпадает с истинным значением измеряемой величины.

Центральный момент  $k$ -порядка - математическое ожидание  $k$ -й степени центрированной случайной величины (т.е. разности между значением случайной величины и ее математическим ожиданием). Применительно к измерениям центрированная случайная величина будет случайной погрешностью:

$$\Delta = \hat{m}_x = X - Q. \quad (1.10)$$

Оценка математического ожидания будет состоятельной, несмещенной и эффективной оценкой истинного значения физической величины.

**Состоятельной** называют оценку, которая приближается к истинному значению измеряемой величины при  $n \rightarrow \infty$ .

**Несмещенной** называется оценка, математическое ожидание которой равно истинному значению оцениваемой величины.

**Эффективной** является несмещенная оценка, для которой дисперсия минимальна.

Центральным моментом 2 порядка будет дисперсия результатов наблюдений:

$$\hat{D}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{m}_x)^2. \quad (1.11)$$

Это рассеяние результатов наблюдений относительно математического ожидания. Недостаток такого представления погрешности измерения заключается в том, что она имеет размерность квадрата измеряемой величины. Поэтому на практике используют значение среднеквадратического отклонения результата измерения

$$\sigma_x = \sqrt{\hat{D}_x}. \quad (1.12)$$

В отличие от результатов измерения, числовые характеристики функции распределения являются детерминированными, а не случайными. Следовательно, чтобы найти точные значения, необходимо произвести бесконечно большое число наблюдений. Отсюда возникает задача определения приближенных значений, полученных в некотором количестве независимых наблюдений. В математической статистике такие приближенные значения, выраженные одним числом, называются **точечными оценками**. Любая точечная оценка, вычисленная на основе опытных данных, представляет собой случайную величину, зависящую от самого оцениваемого параметра и от числа опытов. Распределение оценки зависит от распределения исходной случайной величины.

### 1.5.2 Оценка погрешностей результатов прямых измерений с многократными наблюдениями

Приемы оценки случайных погрешностей устанавливает ГОСТ 8.207-76 «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения».

Различают равноточные и неравноточные измерения.

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

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

Рассмотрим **алгоритм оценки погрешностей равноточных наблюдений**.

Пусть имеется выборка из  $n$  измеряемых величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Результаты измерений содержат только случайные погрешности. Требуется найти оценку истинного значения измеряемой величины и погрешность измерения в данной выборке.

При симметричных законах распределения вероятностей истинное значение измеряемой величины совпадает с ее математическим ожиданием, а оценкой математического ожидания является среднее арифметическое результатов отдельных наблюдений:

$$\hat{m}_x = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} . \quad (1.13)$$

Если известно математическое ожидание случайной величины, то СКО результатов наблюдений равно

$$\hat{\sigma}_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad (1.14)$$

Проверить результаты наблюдений на наличие грубой погрешности можно следующим образом:

Если  $|x_i - \bar{x}| \geq 3 \hat{\sigma}_x$ , то данный результат содержит грубую погрешность и должен быть исключен.

Полученная выше оценка истинного значения измеряемой величины  $X$  является случайной величиной, рассеянной относительно среднего значения. СКО результата измерения будет иметь следующий вид:

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{\hat{\sigma}_x}{\sqrt{n}} . \quad (1.15)$$

Эта величина характеризует рассеяние среднего арифметического значения  $\bar{x}$  результатов  $n$  наблюдений измеряемой величины относительно ее истинного значения и является точечной оценкой. Она всегда будет приближенной, т.к. получена на основании ограниченного числа наблюдений. Кроме того, в ней не содержится никаких сведений о вероятностях этой оценки.

На практике переходят к так называемым интервальным оценкам, связанным с определением доверительных границ случайной погрешности результата измерения.

**Доверительные границы** – наибольшее и наименьшее значения погрешности измерения, ограничивающие интервал, внутри которого с заданной вероятностью находится искомое (истинное) значение погрешности результата измерения:

$$\overset{\circ}{\Delta} = t \cdot \hat{\sigma}_{\bar{x}}, \quad (1.16)$$

где  $t$  – коэффициент, зависящий от вида распределения случайных величин, количества наблюдений и доверительной вероятности. Доверительная вероятность – это вероятность того, что результат измерения находится в интервале от  $(\bar{x} - \overset{\circ}{\Delta})$  до  $(\bar{x} + \overset{\circ}{\Delta})$ . Для небольшого количества наблюдений ( $n \leq 15$ ) применяют нормальное распределение, в теории погрешностей называемое распределением Стьюдента, а коэффициент  $t$  при этом носит название коэффициента Стьюдента. Распределение Стьюдента позволяет получить обоснованные статистические результаты их небольшой выборки.

При количестве наблюдений  $n > 15$  необходимо проверить принадлежность результатов к нормальному распределению путем применения специальной методики.

При неизвестной функции распределения или невозможности проверки принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению рекомендуется  $t$  для расчета доверительных границ определять исходя из нормального распределения.

Значение доверительной вероятности принимают равным 0,95. В тех случаях, когда измерение нельзя повторить, помимо границ, соответствующих  $P_d = 0,95$ , допускается указывать границы для  $P_d = 0,99$ .

При оценке случайных погрешностей **неравноточных наблюдений** оцениваются средние значения и СКО различных групп независимых наблюдений одной и той же величины. За результат измерения принимается оценка измеряемой величины по данным всех групп наблюдений, а погрешность определяется с учетом весовых коэффициентов, обратно пропорциональных дисперсиям групп наблюдений.

### 1.5.3 Оценка погрешностей косвенных измерений

За результат косвенного измерения принимается величина  $\bar{Q}$ , представляющая собой функцию от средних значений аргументов физических величин, входящих в формулу:

$$\bar{Q} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m). \quad (1.18)$$

Переменные  $x_i$  являются результатами прямых измерений. Составляющими погрешности результата косвенного измерения будут так называемые **частные случайные погрешности**, учитывающие вклад каждой переменной, входящей в формулу:

$$\hat{E}_{xi} = \frac{\partial F}{\partial x_i} \hat{\sigma}_{xi}, \quad (1.19)$$

где  $\hat{\sigma}_{xi}$  - оценки СКО результата прямого измерения  $i$ -й величины. СКО результата косвенного измерения находится по формуле

$$\hat{\sigma}_Q = \sqrt{\sum_{i=1}^m \hat{E}_{xi}^2 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1, i \neq j}^m \hat{E}_{xi} \hat{E}_{xj} \hat{R}_{ij}}, \quad (1.20)$$

где  $\hat{R}_{ij}$  - коэффициент корреляции, показывающий степень статистической связи между частными погрешностями результата измерения.

Коэффициент корреляции изменяется в интервале от -1 до +1. В случае, когда  $\hat{R}_{ij} = 0$ , частные случайные погрешности считаются некоррелированными. При  $\hat{R}_{ij} < 0$  имеет место отрицательная корреляция (при возрастании одной частной случайной погрешности другая убывает), при  $\hat{R}_{ij} > 0$  – положительная корреляция (при возрастании одной частной случайной погрешности вторая также возрастает). Коэффициент корреляции рассчитывается по формуле

$$\hat{R}_{ij} = \frac{1}{(n-1)\hat{\sigma}_{xi}\hat{\sigma}_{xj}} \sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j), \quad (1.21)$$

где  $n$  – наименьшее из числа наблюдений  $x_{ik}$  и  $x_{jk}$ .

Для нахождения доверительного интервала при количестве наблюдений меньше 30 необходимо найти так называемое число степеней свободы

$$n_{\text{эфф}} - 1 = \frac{\left( \sum_{i=1}^m \hat{E}_{xi} \bar{\delta}_{xi} \right)^2}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{n_i - 1} \hat{E}_{xi}^2 \bar{\delta}_{xi}^2}, \quad (1.22)$$

где  $\hat{\delta}_{xi} = \frac{\hat{\sigma}_{xi}}{\bar{X}}$  - относительное среднеквадратическое отклонение результата измерения.

Коэффициент Стьюдента  $t$  находится из таблиц для заданной доверительной вероятности  $P_d$  и эффективного числа степеней свободы  $n_{\text{эфф}} - 1$ . Если эффективное число степеней свободы получилось дробным, необходимо провести линейную интерполяцию. Интерполяционная формула в данном случае имеет вид

$$t = \frac{(t_2 - t_1) \cdot (n_{\text{эфф}} - 1) + [t_1(n_2 - 1) - t_2(n_1 - 1)]}{(n_2 - 1) - (n_1 - 1)}. \quad (1.23)$$

Умножив коэффициент Стьюдента  $t$  на СКО результата косвенного измерения, получают доверительный интервал:

$$\Delta = t \cdot \hat{\sigma}_Q. \quad (1.24)$$

С учетом весовых коэффициентов частные случайные погрешности по-разному влияют на величину суммарной погрешности косвенного измерения. Некоторые из них могут быть заметно меньше других и при округлении не будут оказывать заметного влияния на доверительные границы. Такие частные погрешности называются ничтожно малыми (ничтожными). Погрешность считается ничтожной, если она изменяет суммарную погрешности не более чем на 5%. Это условие выполняется при соблюдении и следующего критерия:

$$\hat{E}_k < 1/3 \hat{\sigma}_Q. \quad (1.25)$$

Использование критерия ничтожных погрешностей косвенных измерений позволяет найти те величины, повышение точности измерения которых позволит уменьшить суммарную погрешность результата измерений, и те величины, повышать точность измерения которых не имеет смысла.

## 1.6 Систематические погрешности измерения

### 1.6.1 Классификация и обнаружение систематических погрешностей

**Систематическая погрешность** – погрешность, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Иными словами, систематическими называются погрешности, не изменяющиеся с течением времени или являющиеся не изменяющимися во времени функциями определенных параметров.

Их **отличительным признаком** является то, что они могут быть предсказаны и, следовательно, почти полностью устранены введением соответствующих поправок.

Систематические **аддитивные** погрешности могут возникать, например, от постороннего груза на чашке весов, от неточности установки нуля перед измерением, от термо-Э.Д.С. в цепях постоянного тока.

Появление систематических **мультипликативных** погрешностей могут вызвать изменение коэффициента усиления усилителя, изменения жесткости пружины прибора, опорного напряжения в цифровом вольтметре.

**В зависимости от причин возникновения** систематические погрешности делятся на

- инструментальные, обусловленные старением деталей, деформациями, разрядкой источников питания и т.д.). Они определяются погрешностью средства измерений;

2) внешние;

3) личные;

4) погрешности метода.

Особенностью инструментальных систематических погрешностей является то, что они могут быть скорректированы лишь в данный момент времени, а далее вновь непрерывно возрастают и требуют повторения коррекции.

**По характеру проявления** можно выделить следующие группы систематических погрешностей:

- постоянные, которые в процессе измерения не изменяют величину и знак, внешне никак себя не проявляют и долгое время остаются незамеченными. Единственный способ их избежать – проведение периодической поверки приборов;

- переменные, которые или монотонно изменяют свою величину (**прогрессирующие погрешности**), или меняются периодически (**периодические**).

Наличие систематических погрешностей искажает результаты измерений. Их отсутствие определяет **правильность измерений (средств измерений)**.

**Правильность измерений (средств измерений)** – качество измерений (средств измерений), отражающее близость к нулю систематической погрешности.

Основная трудность – обнаружение систематической погрешности и определение из величины и знака. Для этого необходимо проводить специальные экспериментальные исследования. Разработаны также специальные методики измерений, позволяющие исключить возникновение этих погрешностей или устранить их влияние на результат измерений. Уменьшение или исключение систематических погрешностей измерений проводят как при подготовке к проведению измерений (путем установки нулей, калибровки, прогрева приборов, экранирования) так и в процессе измерений, используя способы замещения, компенсации погрешности по знаку, симметричных наблюдений и способ рандомизации. При обработке результатов измерений могут быть исключены систематические погрешности с известными значениями и знаками. Для этого в неисправленный результат наблюдений вводятся **поправки или поправочные множители**, которые определяются при поверке или специальных исследованиях.

### 1.6.2 Суммирование неисключенных систематических погрешностей

Систематические погрешности, которые остаются в результатах измерения после проведения операций обнаружения, оценки и исключения, называются **неисключенными систематическими погрешностями**.

При определении границы результирующей неисключенной систематической погрешности ее отдельные составляющие рассматриваются как случайные величины. Если известно, что распределение составляющих неисключенной систематической погрешности нормальное, то суммарная систематическая погрешность рассчитывается следующим образом:

$$\Delta_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta_{ci}^2} \quad , \quad (1.26)$$

где  $\Delta_{ci}$  - значение неисключенной составляющей систематической погрешности;

$m$  - количество неисключенных систематических погрешностей.

Если данных о виде распределения нет, то

$$\Delta_c = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta_{ci}^2} \quad . \quad (1.27)$$

При  $P_d=0,95$  коэффициент  $k=1,1$ . При  $P_d=0,99$   $k$  зависит от числа неисключенных систематических погрешностей  $m$ . Если  $m>4$ , то  $k=1,4$ . При  $m \leq 4$  поступают следующим образом. Находят отношение  $l = \Delta_{ci}' / \Delta_{ci}''$ , где  $\Delta_{ci}'$  - составляющая систематической погрешности, наиболее отличающаяся по своему значению от остальных;  $\Delta_{ci}''$  - составляющая систематической

погрешности, по своему значению наиболее приближающаяся к  $\Delta_{ci}'$ . Затем по графику зависимости  $k$  от  $l$  находят значение  $k$ .

При косвенных измерениях неисключенные систематические погрешности являются частными неисключенными систематическими погрешностями косвенного измерения и находятся следующие образом:

$$\Delta_{cQi} = \frac{\partial F}{\partial x_i} \Delta_{cxi}. \quad (1.28)$$

### 1.7 Оценка суммарной погрешности результата измерения

Если известны доверительные границы случайной погрешности измерения  $\Delta$  и доверительные границы систематической погрешности измерения  $\Delta_c$ , по необходимо проверить, не является ли какая-либо из этих составляющих настолько малой, чтобы можно было ее исключить. Для этого находят отношение

$$R = \frac{\Delta_c}{\hat{\sigma}_{\bar{x}}}. \quad (1.29)$$

Если  $R < 0,8$ , то пренебрегают систематической составляющей, и тогда

$$\Delta = \Delta. \quad (1.30)$$

Если  $R > 8$ , то пренебрегают случайной составляющей погрешности, и

$$\Delta = \Delta_c. \quad (1.31)$$

Если  $0,8 \leq R \leq 8$ , то нельзя пренебречь ни систематической, ни случайной составляющими погрешности измерения, и тогда доверительные границы результирующей погрешности измерения находятся следующим образом:

$$\Delta = k_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}, \quad (1.32)$$

где

$$k_{\Sigma} = \frac{\Delta + \Delta_c}{\hat{\sigma}_{\bar{x}} + \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^m \Delta_{ci}^2}} \quad (1.33)$$

и зависит от соотношения случайной и систематической составляющих;

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_{ci}^2}{3} + \hat{\sigma}_{xi}^2} - \quad (1.34)$$

– оценка суммарного СКО результата измерения;

$m$  – количество неисключенных систематических погрешностей.

### 1.8 Оценка погрешностей измерений с однократными наблюдениями

Для оценки погрешностей однократных наблюдений не требуется статистической обработки, что значительно упрощает процедуру. Перед измерением оценивают ожидаемую погрешность, используя предварительные данные об измеряемой величине, применяемых методе и средствах измерений, а также об условиях проведения измерений. Для априорной оценки ожидаемой погрешности рекомендуют использовать следующий алгоритм.

1. Проводится анализ составляющих погрешности результата измерения по источникам возникновения. Методические погрешности оцениваются на основании изучения теоретических зависимостей, описывающих объект и метод измерений, либо экспериментальным путем при измерении одной и той же величины различными методами. Инструментальные и внешние погрешности находят из данных об основных и дополнительных погрешностях применяемых средств измерений. Субъективные погрешности оценивают экспериментальным путем. При этом оценка систематических погрешностей задается их границами, а случайных – значениями СКО.

2. Исключаются систематические погрешности, а неисключенные суммируются для определения границ неисключенной систематической погрешности  $\Delta_{\bullet}$ .

3. Оценивается СКО результата измерения (для прямых измерений  $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$ , для косвенных –  $\hat{\sigma}_{\bar{Q}}$ ). При этом при оценке СКО результата косвенного измерения предполагается, что частные случайные погрешности некоррелированы.

4. Находятся доверительные границы случайной погрешности  $\Delta^{\circ}$ . Для доверительной вероятности 0,95 коэффициент Стьюдента принимают равным 2, а для  $P_d = 0,99$  – 2,6.

5. Проводится оценка доверительных границ ожидаемой суммарной погрешности результата измерения. Для этого находят величину  $\mu = \frac{\Delta_c}{\hat{\sigma}_{\bar{x}}}$  для прямых измерений или  $\mu = \frac{\Delta_c}{\hat{\sigma}_Q}$  для косвенных измерений.

Если  $\mu < 0,5$ , то пренебрегают систематической составляющей погрешности. Если  $\mu > 8$ , пренебрегают случайной составляющей погрешности. Если  $0,5 \leq \mu \leq 8$ , то результирующая погрешность для прямых измерений будет равна  $\Delta = 0,8(\Delta_c + \overset{\circ}{\Delta})$ , для косвенных -  $\Delta = \sqrt{\overset{\circ}{\Delta}^2 + \Delta_c^2}$ .

### 1.9 Формы представления результатов измерений

Результат измерения записывают по одной из форм, представленных в МИ 1317-86 МУ «ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерения. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров»:

- если погрешность измерений выражается доверительным интервалом от  $\overset{\circ}{\Delta}_H$  до  $\overset{\circ}{\Delta}_B$  :

$A: \overset{\circ}{\Delta}$  от  $\overset{\circ}{\Delta}_H$  до  $\overset{\circ}{\Delta}_B$ ;  $P_d = \dots$ ,  
где  $A$  – результат измерения;

- при одинаковых числовых значениях  $\overset{\circ}{\Delta}_H$  и  $\overset{\circ}{\Delta}_B$  :

$(A \pm \overset{\circ}{\Delta})$ ;  $P_d = \dots$  . (1.17)

Если полученное значение  $\Delta$  оказалось больше допускаемой погрешности  $\Delta_d$ , необходимо либо обратиться к другому методу измерения, либо заменить средство измерений (или уточнить его метрологические характеристики), либо изменить условия измерений. Если  $\Delta < \Delta_d$ , установленная процедура обеспечивает получение результата с требуемой точностью.

### 1.10 Метрологическое обеспечение измерений

#### 1.10.1 Структура метрологического обеспечения в Республике Беларусь

Для организации обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений в стране создана **метрологическая служба** – совокупность организационно и (или) функционально связанных между собой юридических лиц, их структурных подразделений либо структурное подразделение юридического лица, деятельность которых направлена на обеспечение единства измерений. Эти органы осуществляют надзор за

состоянием средств измерений и обеспечивают передачу размера единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений.

Главной задачей метрологической службы является создание в стране таких условий для метрологической деятельности. Которые сведут к минимуму вероятность получения недостоверных результатов измерений и вычислений.

Установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства измерений и единообразия средств измерений определяют как **метрологическое обеспечение (МО)**.

Научной основой метрологического обеспечения является метрология. Техническую основу метрологии составляют

- система государственных эталонов единиц физических величин, обеспечивающая воспроизведение единиц с наивысшей точностью;

- система передачи размеров единиц ФВ от эталонов к рабочим средствам измерений;

- система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение рабочих средств измерений, обеспечивающих определение с требуемой точностью характеристик продукции;

- система государственных испытаний средств измерений, предназначенных для серийного и массового производства;

- система обязательной государственной и ведомственной поверки или метрологической аттестации средств измерений, обеспечивающая их единообразие при изготовлении, эксплуатации и ремонте;

- система стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов;

- система разработки, стандартизации и аттестации методик выполнения измерений.

Кроме того, в связи с интенсивным развитием информационных технологий актуальной становится задача метрологического обеспечения программных продуктов и вычислительных средств.

Решение указанных задач осуществляется органами метрологической службы, входящими в структуру **Системы обеспечения единства измерений** – совокупности законодательных актов, положений, правил и норм, технических средств, органов и служб, применение и деятельность которых направлены на поддержание единства и требуемой точности измерений в стране.

Структура метрологической службы в Республике Беларусь представлена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Структура метрологической службы Республики Беларусь

На различных этапах жизненного цикла технического устройства его метрологическое обеспечение имеет ряд общих и самостоятельных задач. К ним можно отнести исследование параметров для определения требований к качеству; выбор средств измерений; определение метода измерения и контроля физических величин; поверка применяемых средств измерений; надзор за соблюдением на предприятии утвержденных методик измерения и контроля; проведение метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации; надзор за состоянием средств измерений и за соблюдением сроков из поверки; внедрение новых типов средств измерений и контроля.

Существующая система МО измерений опирается на комплекс стандартов СОЕИ (ГСИ). В эту систему входят стандартизация терминов и определений в области метрологии; единицы ФВ, нормы точности измерений и формы представления результатов измерений, нормируемые метрологические характеристики средств измерений, государственные эталоны и поверочные схемы, методы и средства поверки средств измерений, организация и порядок проведения государственных испытаний, поверки и метрологической аттестации средств измерений. В задачи метрологической службы в этой связи входит осуществление метрологического надзора и контроля за выполнением метрологических правил и норм, а также создание комплекса стандартов СОЕИ и Конт-роля за выполнением их требований, пресечение нарушений метрологических правил и норм, принятие мер по устранению этих нарушений.

Ответственность за правильность, своевременность и полноту МО технических устройств возлагается на потребителей (заказчиков).

Деятельность органов ГМС регламентируется СТБ 8006-95 «СОЕИ РБ Государственный метрологический надзор и метрологический контроль. Основные положения».

Существует два вида контроля за выполнением метрологических правил и норм: **государственный метрологический надзор и метрологический контроль.**

**Государственный метрологический надзор (ГМН)** – деятельность органов Государственной метрологической службы (ГМС) по проверке соблюдения установленных метрологических правил и норм.

ГМН проводится применительно к единицам измерений; средствам измерений; методикам выполнения измерений; результатам измерений; субъектам хозяйствования, которые в соответствии с установленным порядком должны иметь разрешение Госстандарта на право производства, ремонта, поверки, калибровки, продажи и проката средств измерений; к лицам, осуществляющим измерения, а также другим объектам, к которым предъявляются метрологические требования, имеющие обязательную силу.

К сфере действия МГН относятся следующие виды деятельности:

- проведение торговых операций и взаимных расчетов между покупателем и продавцом, в том числе операций с применением игровых автоматов и устройств;

- диагностика и лечение заболеваний человека и животных;
- контроль медикаментов;
- контроль за состоянием окружающей среды;
- проведение государственных учетных операций;
- контроль безопасности и условий труда;
- учет, хранение перевозка и уничтожение токсичных, легковоспламеняющихся, взрывчатых и радиоактивных веществ;
- проведение геодезических и гидрометеорологических операций;
- обеспечение обороны государства;
- проведение банковских, налоговых, таможенных и почтовых операций;
- производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения ее соответствии обязательным требованиям стандартов РБ;
- обязательная сертификация продукции и услуг;
- контроль всех видов сырья и продуктов питания;
- проведение испытаний, поверка, калибровка, метрологическая аттестация, ремонт, продажа и прокат средств измерений;
- измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления РБ;
- измерения, результаты которых служат основанием для регистрации национальных и международных спортивных рекордов.

В Республике Беларусь установлены следующие виды ГМН:

- **государственные испытания средств измерений (ГИ СИ)** – испытания образцов средств измерений с целью утверждения типа средства измерений или подтверждения их соответствия указанному типу. ГИ проводят государственные научные метрологические центры, аккредитованные Госстандартом в качестве государственных центров испытаний средств измерений, в соответствии с СТБ 8001-93 «СОЕИ РБ. Государственные испытания средств измерений. Основные положения. Организация и порядок проведения»;

- **утверждение типа средств измерений** – решение (уполномоченного на это органа государственного управления) о признании типа средства измерений узаконенным для применения на основании результатов их испытаний государственным научным метрологическим центром или другой специализированной организацией, аккредитованной Госстандартом страны. Решение об утверждении типа принимается Госстандартом в соответствии с СТБ 8001-93 и удостоверяется выдачей сертификата об утверждении типа средства измерений;

- **метрологическая аттестация средств измерений (МА СИ)** – исследование средства измерений, выполняемое в установленном порядке органом ГМС либо юридическим лицом, индивидуальным предпринимателем для установления метрологических свойств этого средства измерений и выдача документов с указанием полученных данных. МА проводится для вновь

разрабатываемых средств измерений в соответствии с СТБ 8004-93 «СОЕИ РБ. Метрологическая аттестация средств измерений».

Метрологической аттестации подлежат либо *тип средства измерений* (для серийно разрабатываемых приборов), либо *отдельные экземпляры средств измерений* (для нестандартных приборов). Метрологической аттестации могут подлежать средства измерений, не подпадающие под сферы распространения ГМК или надзора.

- **поверка средств измерений** - установление органом ГМС (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным требованиям. Поверку проводят в соответствии с СТБ 8003-93 «СОЕИ РБ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения» специально обученные специалисты, аттестованные в качестве поверителей органом ГМС. При поверке используют эталоны. Результаты поверки средств измерений, признанных годными к применению, оформляются выдачей свидетельства о поверке, нанесением поверительного клейма или иными способами, установленными нормативными документами по поверке. Поверке подлежит *каждый* экземпляр средства измерений;

- проверка деятельности субъектов хозяйствования, осуществляющих изготовление, ремонт, поверку, калибровку, продажу и прокат средств измерений;

- проверка состояния и применения методик выполнения измерений и средств измерений, соблюдения метрологических правил и норм, а также достоверности результатов измерений, в том числе количества фасованных товаров в упаковках любого вида при их продаже и расфасовке.

Под **метрологическим контролем (МК)** понимают деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей по проверке соблюдения установленных метрологических правил и норм. Различают следующие виды МК:

- **испытания средств измерений** в соответствии с нормативной документацией на эти средства измерений;

- **метрологическая аттестация средств измерений** в соответствии с СТБ 8004-93;

- **поверка средств измерений** в соответствии с СТБ 8003-93;

- **калибровка средств измерений** в соответствии с методиками калибровки, согласованными с органами ГМС. **Калибровка** средств измерений – это совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений. Калибровке могут подвергаться средства измерений, не подлежащие ГМК и МН. Результаты калибровки удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на средство измерений, или

сертификатом о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах;

- проверка состояния и применения методик выполнения измерений и средств измерений, соблюдения метрологических правил и норм.

### 1.10.2 Передача размера единиц электрических физических величин

Для передачи размера единиц физических величин (ФВ) применяются **эталоны**. **Эталон единицы ФВ** – СИ (или комплекс СИ), предназначенное для воспроизведения и(или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке. Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной ФВ и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений.

Эталоны единиц ФВ имеют классификацию в зависимости от метрологического назначения:

- **первичный эталон** – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. Если первичным эталоном технически нецелесообразно обслуживать весь диапазон изменения измеряемой величины, создают несколько первичных эталонов, охватывающих части этого диапазона с таким расчетом, чтобы был охвачен весь диапазон. В этом случае проводят согласование размеров единиц, воспроизводимых соседними первичными эталонами;

- **вторичный эталон** – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы;

- **эталон сравнения** – эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом;

- **исходный эталон** – эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами в данной лаборатории, организации, на предприятии), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся СИ. При этом под **подчиненным эталоном** понимают стоящий ниже исходного по поверочной схеме эталон;

- **рабочий эталон** – эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим СИ.

Кроме того, различают **государственный эталон** – первичный эталон на территории государства, **национальный эталон** – эталон, исходный для страны, и **международный эталон**, являющийся международной основой для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

Совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющаяся основой обеспечения единства измерений в стране, составляет **эталонную базу страны**. В Республике Беларусь это Национальный метрологический институт – главный центр эталонов.

При поверке или калибровке осуществляется **передача размера единицы** – приведение размера единицы ФВ, хранимой поверяемым СИ, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном. На практике передача размеров единиц ФВ от эталонов к рабочим СИ осуществляется с помощью рабочих эталонов.

Рабочие эталоны могут объединяться в установки, позволяющие быстро выполнять все операции поверки, - **поверочные установки**.

**Поверочная установка** – это измерительная установка, укомплектованная рабочими эталонами и предназначенная для поверки рабочих СИ и подчиненных рабочих эталонов.

Поверка СИ должна быть организована таким образом, чтобы обеспечить минимальные потери точности при передаче размера единиц. Для этой цели устанавливается строго определенный порядок передачи размера каждой единицы ФВ, который приводится в **поверочной схеме**.

**Поверочная схема** для средств измерений – нормативный документ, устанавливающий соподчинение СИ, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим СИ (с указанием методов и погрешности при передаче).

Различают **государственные и локальные поверочные схемы (ПС)**.

**Государственная ПС** – ПС, распространяющаяся на все СИ данной ФВ, имеющиеся в стране.

**Локальная ПС** – ПС, распространяющаяся на СИ данной ФВ, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (в организации).

ПС для разных ФВ могут существенно отличаться, но **принципы построения** остаются общими:

- ПС имеют иерархический характер (нижние звенья ПС подчиняются высшим);

- для целей передачи размеров единиц используются только эталоны. Рабочие СИ, даже самой высокой точности, для передачи размера единиц использоваться не могут.

Пример компоновки элементов государственной ПС представлен на рисунке 1.3.

При выборе рабочих эталонов для разных звеньев ПС обычно руководствуются требованием, чтобы соотношение погрешностей рабочего эталона и поверяемого СИ составляло 1:3, 1:4, 1:5 с учетом принятого метода поверки, характера погрешностей и особенностей применяемых СИ.

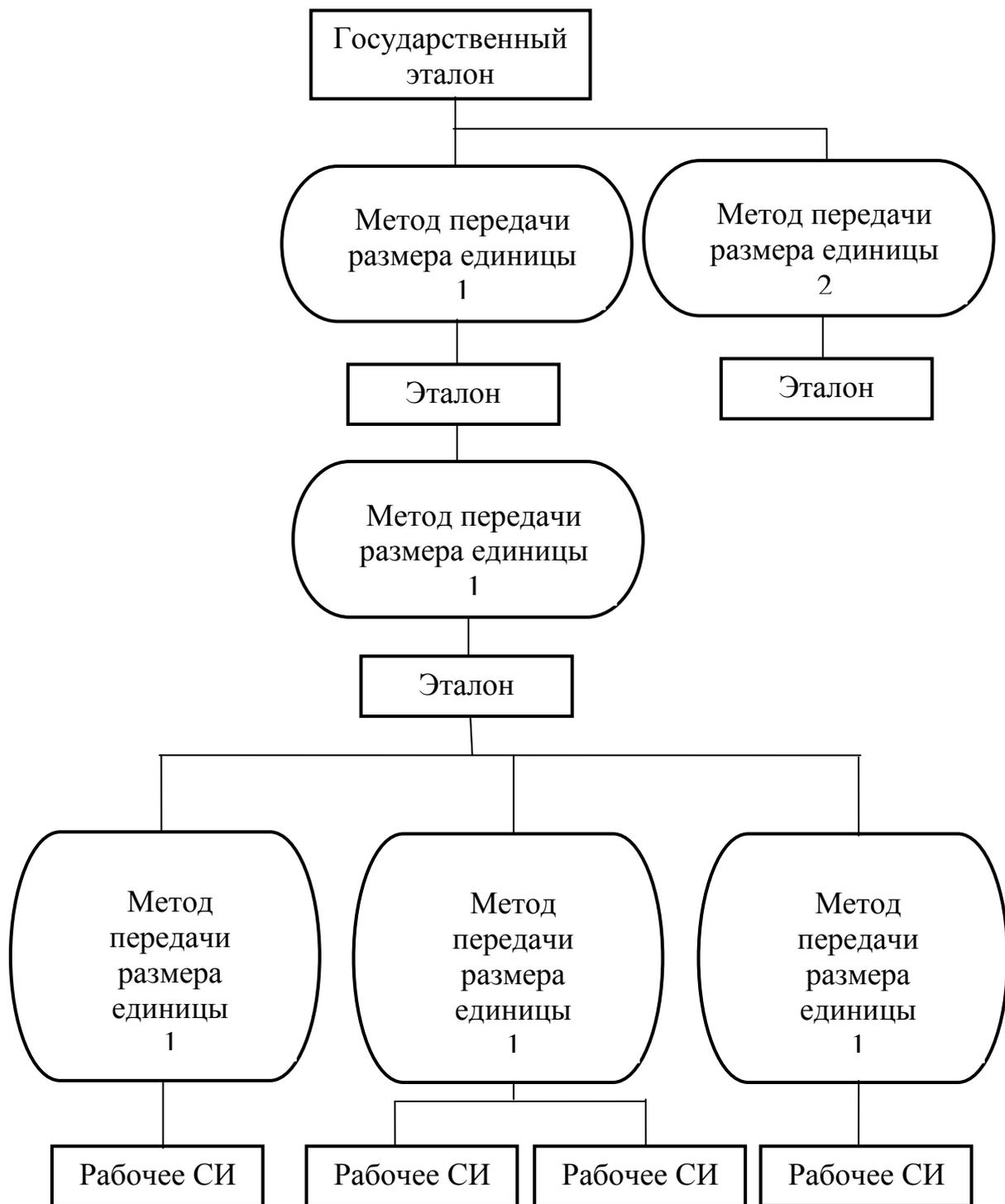


Рисунок 1.3 – Пример компоновки государственной ПС.