

собой комплекс аппаратуры, который не имеет аналогов в мировой практике и по праву может считаться уникальным. Кроме того, созданы и внедрены государственные эталоны для электрохимических измерений.

За последние годы получены высокие результаты точности и надежности эталонов, создаваемых на основе использования квантовых эффектов, что позволяет предположить возможность создания эталонов в недалеком будущем. С использованием квантовых эталонов был создан эталон Ампера и Ома. Квантовые эталоны характеризуются высокой степенью стабильности значений погрешности воспроизведения единиц величин. С помощью новых методов и средств измерений уточняются фундаментальные физические константы, поэтому точность квантовых эталонов будет возрастать.

Ученые полагают, что квантовые эталоны можно будет считать «вечными мерами», так как способность воспроизведения единиц физических величин у таких эталонов не подвержена влиянию внешних условий, географического местонахождения и времени.

Ожидается появление возможности создания сравнительно недорогих квантовых эталонов и рабочих средств измерений на основе практического использования эффекта высокотемпературной сверхпроводимости, что послужит началом нового периода в развитии фундаментальной и практической метрологии.

В настоящее время эталонная база России имеет в своем составе 114 государственных эталонов и более 250 вторичных эталонов единиц физических величин.

1.3.3. Метрологические свойства и метрологические характеристики средств измерений

Метрологические свойства средств измерений – это свойства, влияющие на результат измерений и его погрешность. Показатели метрологических свойств являются их количественной характеристикой и называются *метрологическими характеристиками*.

Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативными документами, называют нормируемыми метрологическими характеристиками.

Все метрологические свойства средств измерения можно разделить на две группы:

- 1) свойства, определяющие область применения;
- 2) свойства, определяющие качество измерения.

К основным метрологическим характеристикам, определяющим свойства первой группы, относятся диапазон измерений и порог чувствительности.

Диапазон измерений – область значений величины, в пределах которых нормированы допускаемые пределы погрешности. Значения величины, ограничивающие диапазон измерений снизу или сверху (слева и справа), называют соответственно нижним или верхним пределом измерений.

Порог чувствительности – наименьшее изменение измеряемой величины, которое вызывает заметное изменение выходного сигнала.

К метрологическим свойствам второй группы относятся три главных свойства, определяющих качество измерений: точность, сходимость и воспроизводимость измерений.

Наиболее широко в метрологической практике используется первое свойство – точность измерений. Точность измерений определяется погрешностью средства измерения.

Погрешность – это разность между показаниями средства измерения и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины.

Классификация погрешностей средств измерений приведена на рис. 1.7.

Все погрешности средств измерений в зависимости от внешних условий делятся на основные и дополнительные.

Основная погрешность – это погрешность средств измерений при нормальных условиях эксплуатации.

В рабочих условиях, зачастую отличающихся от нормальных более широким диапазоном влияющих величин, при необходимости нормируется *дополнительная погрешность средств измерений*.

Существуют три способа нормирования основной погрешности средства измерения:

- нормирование пределов допускаемой абсолютной ($\pm \Delta$) или приведенной ($\pm \gamma$) погрешностей, постоянных во всем диапазоне измерения;
- нормирование пределов допускаемой абсолютной ($\pm \Delta$) или относительной ($\pm \sigma$) погрешностей в функции измеряемой величины;
- нормирование постоянных пределов допускаемой основной

погрешности, различных для всего диапазона измерений одного или нескольких участков.

В качестве предела допускаемой погрешности принимается наибольшая погрешность, вызываемая изменением влияющей величины, при которой средство измерения по техническим требованиям может быть допущено к применению. То же самое относится и к дополнительной погрешности. При этом исходят из следующих положений:

- дополнительная погрешность имеет такой же вид, что и основная (абсолютная, относительная, приведенная);

- дополнительные погрешности, вызванные различными влияющими факторами, должны нормироваться отдельно.

В общем виде суммарная абсолютная погрешность средств измерений

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_0 + \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}, \quad (1.20)$$

где Δ_0 – основная погрешность СИ; Δ_i – дополнительная погрешность, вызванная изменением i -го влияющего фактора.

Вследствие сложности разделения дополнительных и основных погрешностей поверку СИ выполняют только при нормальных условиях (т. е. дополнительные погрешности исключены).

Систематическая погрешность средства измерения – это составляющая общей погрешности, которая остается постоянной или закономерно изменяется при многократных измерениях одной и той же величины.

Случайной погрешностью называют составляющую, изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины случайным образом.

Для пределов допускаемой основной и дополнительной погрешностей предусмотрены различные способы выражения в виде абсолютной, относительной и приведенной погрешностей.

Абсолютная погрешность – разность между показанием x средства измерения и действительным значением x_0 измеряемой величины

$$\Delta = |x - x_0|. \quad (1.21)$$

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой физической величины и может быть задана (рис. 1.8):

- либо одним числом (линия 1): $\Delta = \pm a$;
- либо в виде функции линейной зависимости (линии 2 и 3): $\Delta = \pm bx$;
 $\Delta = \pm(a + bx)$;
- в виде функции $\Delta = f(x)$ или графика, таблицы.

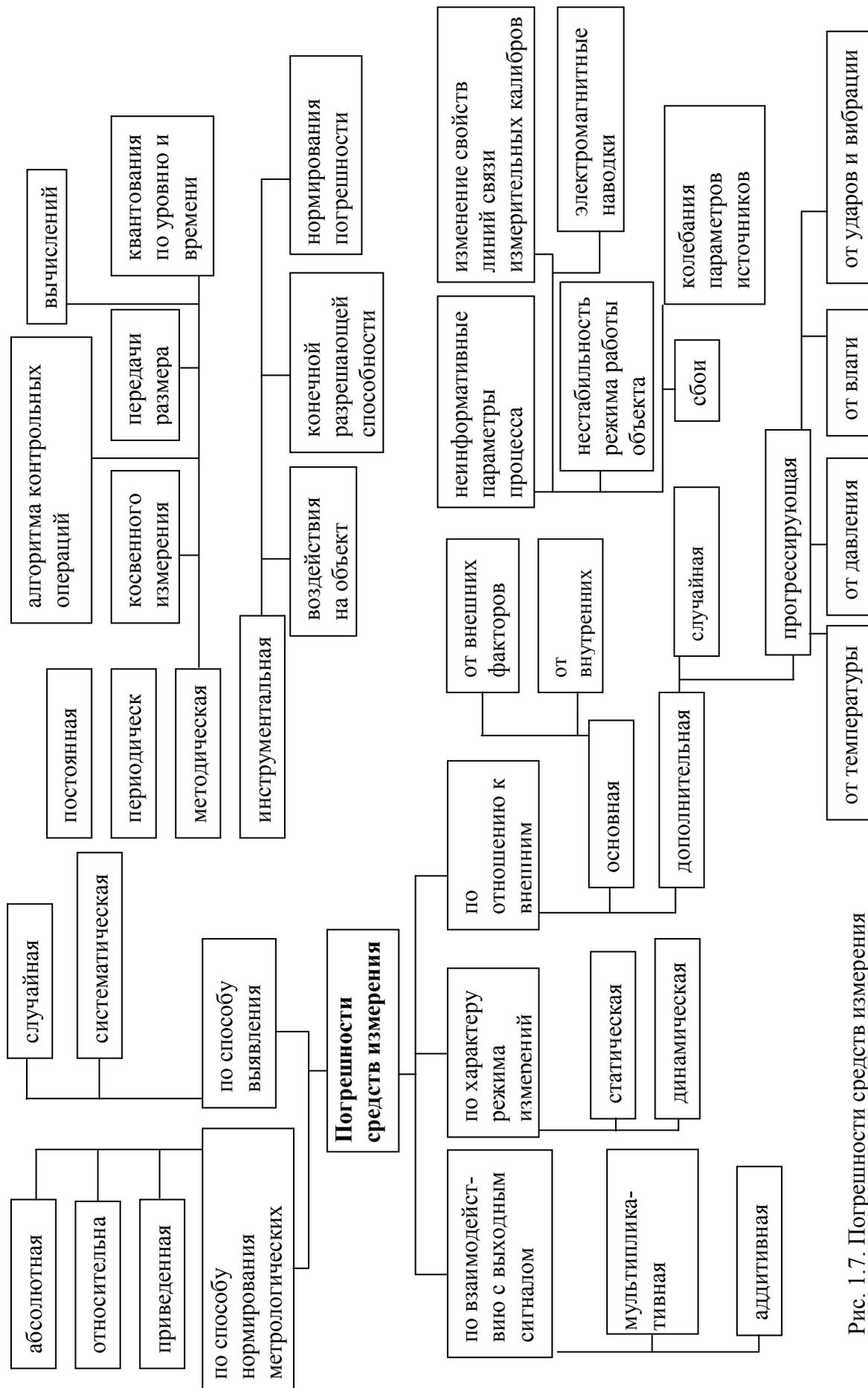


Рис. 1.7. Погрешности средств измерения

Если значение погрешности не изменяется во всем диапазоне измерения (линия 1), то такая погрешность называется *аддитивной*. Если погрешность изменяется пропорционально измеряемой величине (линия 2), то ее называют *мультипликативной*. В большинстве случаев аддитивная и мультипликативная составляющие присутствуют одновременно (линия 3).

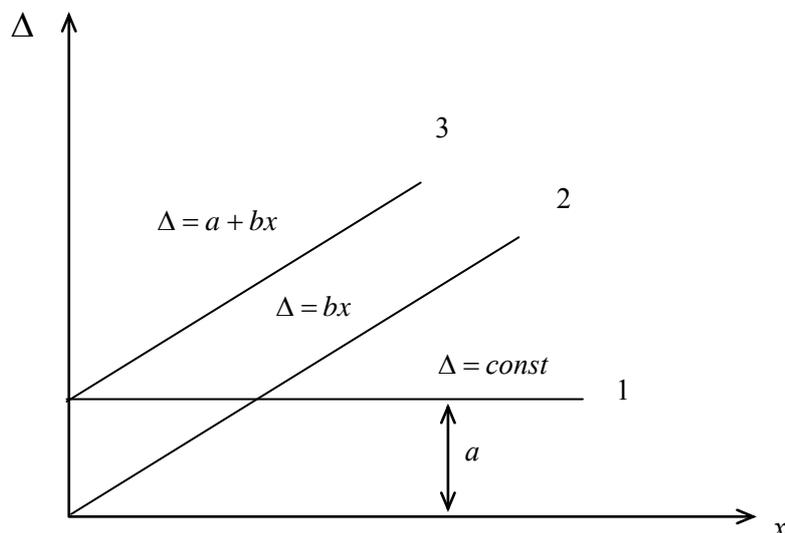


Рис. 1.8. Формирование аддитивной и мультипликативной составляющих погрешностей

Поскольку абсолютная погрешность выражается в абсолютных единицах физической величины, то это не дает возможность сравнивать средства измерения, измеряющие разные физические величины. Для этой цели можно использовать *относительные погрешности* δ как отношение абсолютной погрешности к действительному значению x_δ , выраженные в процентах:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x_\delta} 100\%. \quad (1.22)$$

Указание только абсолютной погрешности не позволяет сравнивать между собой по точности средства измерений с разным пределом измерений, а указание относительной погрешности также ограничено из-за непостоянства величины. Поэтому получило большое распространение нормирование *приведенной погрешности* как отношение Δ к нормируемому значению x_N

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_N} 100\%. \quad (1.23)$$

Нормирующее значение x_N выбирают в зависимости от вида и характера шкалы прибора.

Обычно метрологические характеристики нормируют отдельно для нормальных и рабочих условий применения средств измерения. Нормальными считаются условия, при которых изменением характеристик под воздействием внешних факторов (температура, влажность и пр.) принято пренебрегать. Так, для многих типов приборов нормальными условиями применения являются температура (293 ± 5) К, атмосферное давление (100 ± 4) кПа, относительная влажность $(65 \pm 15)\%$, электрическое напряжение в сети питания $220 \text{ В} \pm 10\%$. Рабочие условия отличаются от нормальных более широкими диапазонами изменения влияющих величин. И те, и другие метрологические характеристики указываются в нормативных документах.

Выше были подробно рассмотрены характеристики точности результатов измерений. Рассмотрим два других свойства, определяющих качество измерений, – сходимость и воспроизводимость результатов измерений.

Сходимость результатов измерений – характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом, в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Высокая сходимость результатов измерения очень важна при оценке показателей качества товаров, приобретаемых потребителем в виде партии.

Воспроизводимость результатов измерений – повторяемость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

1.3.4. Классы точности средств измерений

Приведенная выше номенклатура метрологических характеристик предполагает строгое нормирование характеристик для средства измерения, используемых при высокоточных лабораторных измерениях и метрологической аттестации.

У средств измерения, применяемых для высокоточных измерений, нормируется до десятка и более метрологических характеристик в стандартах технических требований. Нормы на основные метрологические характеристики приводятся в эксплуатационной документации на средство измерения.

При технических измерениях, когда не предусмотрено выделение случайных и систематических составляющих, когда не существенна динамическая погрешность и т. п., можно пользоваться более грубым нормированием – присвоением средствам измерения определенного класса точности.

Класс точности средства измерения – это обобщенная метрологическая характеристика, определяющая различные свойства средства измерения. Класс точности уже включает систематическую и случайную погрешности, однако он не является непосредственной характеристикой точности измерений, выполняемых с помощью этих средств, поскольку точность измерений зависит и от метода измерения, взаимодействия с объектом, условий измерения и т.д.

В частности, чтобы измерить величину с точностью до 1 %, недостаточно выбрать средство измерения с погрешностью 1 %. Выбранное средство должно обладать гораздо меньшей погрешностью, т. к. нужно учесть как минимум еще погрешность метода.

Присваиваются классы точности средства измерения при их разработке (по результатам приемочных испытаний). Если оно предназначено для измерения одной и той же физической величины, но в разных диапазонах, или – для измерения разных физических величин, то этим средствам могут присваиваться разные классы точности, как по диапазонам, так и по измеряемым физическим величинам. В связи с тем, что при эксплуатации их метрологические характеристики обычно ухудшаются, допускается понижать класс точности по результатам поверки (калибровки).

В качестве основных устанавливается три вида классов точности средств измерения:

- для пределов допускаемой абсолютной погрешности в единицах измеряемых величин или делениях шкалы;
- для пределов допускаемой относительной погрешности в виде ряда чисел;
- для пределов допускаемой приведенной погрешности в виде того же ряда чисел.

Классы точности, выраженные через абсолютные погрешности, обозначают прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами. При этом, чем дальше буква или цифра от начала алфавита, тем больше значения допускаемой абсолютной погрешности.

Класс точности через относительную погрешность обозначается двумя способами:

- если погрешности средства измерения имеет в основном мультипликативную составляющую, то пределы допускаемой основной относительной погрешности устанавливаются по формуле

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} 100\%, \quad (1.24)$$

- если СИ имеют как мультипликативную, так и аддитивную составляющие, то класс точности обозначается двумя цифрами, соответствующие значениям c и d формулы

$$\delta = \pm [c + d \left(\left| \frac{x_0}{x} \right| - 1 \right)]. \quad (1.25)$$

Например, класс точности 0,02/0,01 означает, что $c = 0,02$, а $d = 0,01$, т. е. значение относительной погрешности в начале диапазона измерения равно 0,02 %, а в конце диапазона – 0,01 %. Значение x – текущее значение измеряемой величины; x_0 – верхний предел измерений.

Наиболее широкое распространение получило нормирование класса точности по приведенной погрешности:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_N} 100\%. \quad (1.26)$$

Условное обозначение класса точности в этом случае зависит от шкалы измерительного средства. Например, класс точности 1,5 означает, что $\gamma = 1,5\%$.

Примеры обозначения классов точности в документах и на приборах приведены в таблице 1.2.

Итак, класс точности позволяет судить о том, в каких пределах находится погрешность измерений этого класса. Это важно знать при выборе средства измерения в зависимости от заданной точности измерений.

Таблица 1.2

**Формулы вычисления погрешностей и обозначение классов точности
средств измерения**

Обозначение класса точности		Форма выражения погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности, %	Примечание
на средстве измерения	в документации			
0,5	Класс точности 0,5	Приведенная	$\gamma = \pm 0,5$	Нормирующее значение выражено в единицах измеряемой величины
	Класс точности 0,5		$\gamma = \pm 0,5$	нормирующее значение принято равным длине шкалы или ее части
	Класс точности 0,5	Относительная	$\delta = \pm 0,5$	
0,02/0,01	Класс точности 0,02/0,01		$\delta = \pm [c + d(\frac{x_0}{x} - 1)]$	

1.3.5. Контрольные вопросы

1. Что такое средство измерений?
2. Назовите признаки, позволяющие выполнять классификацию средств измерения.
3. Какие меры бывают?
4. Что представляют собой измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки, измерительные системы?
5. Дайте определение понятия эталона и назовите основные признаки эталона.
6. Какие существуют типы эталонов?
7. Назовите метрологические свойства и характеристики средств измерения.
8. Дайте определения диапазону измерений и порогу чувствительности.
9. Что такое точность, сходимость и воспроизводимость измерений?