

Тема 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

1. **Сущность и задачи метрологии**
2. **Основные термины и их определения**
3. **Международная система единиц физических величин (ФВ)**
4. **Эталоны единиц ФВ. Поверочные схемы**

1. Сущность и задачи метрологии

Метрология (с греч. metron – мера и logos - учение) – это наука об измерениях, которая изучает теоретические и практические аспекты измерений как способа познания во всех отраслях науки и техники.

Целью метрологии является создание общей теории измерений, эталонов и мер, измерительных приборов и измерительных информационных систем, разработка методов измерительных преобразований, методов оценки точности результатов измерений, методики передачи размеров единиц от эталонов к рабочим средствам измерений.

Метрология имеет собственный предмет и объект изучения.

Предметом метрологии являются методы и методики проведения измерительных операций, средства измерительной техники и способы достижения необходимой точности измерения свойств физических объектов и процессов, правила и нормы, способствующие этому.

Объектом современной метрологии является совокупность метрологического обеспечения всех отраслей производства, потребления и обслуживания общества, его элементов (промышленности, сельского хозяйства, охраны окружающей среды, науки, коммунальной сферы, транспорта и т.д.).

Субъектами метрологии являются лица или организации, которые осуществляют управленческую деятельность в отношении объектов и предметов метрологии.

Метрология выполняет такие функции:

1) *научно-техническую функцию*: решение научных и технических задач, призванных обеспечить создание современных средств и методик измерений, оценку их точности;

2) *теоретическую функцию*:

- разработка и совершенствование теоретических основ метрологии;
- разработка новых принципов и методик измерений;
- разработка и совершенствование нормативной документации в области измерительной техники (стандарты, технические условия, инструкции и методические указания);
- создание и совершенствование научных основ государственной службы стандартных справочных данных и стандартных образцов (разработка методик экспериментального определения самых достоверных значений физических констант;
- создание и совершенствование научных основ государственной службы аттестации качества продукции, в том числе критериев оценки качества продукции.

Этими проблемами занимается отрасль метрологии – теоретическая метрология.

3) *законодательная функция* метрологии: разработка законодательных актов, правил, требований и норм, которые регламентируют все параметры осуществления измерений.

Задачи законодательной метрологии:

- узаконивание (стандартизация) терминов и их определений, системы или совокупности единиц, системы эталонов, мер физических величин и средств измерений;
- узаконивание классов точности средств измерительной техники и методик оценки их точности;

➤ узаконивание стандартных справочных данных, методик поверки и контроля измерительных средств, методик контроля и аттестации качества продукции (аттестация – официальное подтверждение признанным компетентным органом соответствия определенных характеристик продукции установленным квалификационным признакам).

4) *прикладную функцию*: передача правильных значений единиц от эталонов к рабочим СИТ и мерам, метрологический контроль (метрологическая аттестация СИТ, аккредитация измерительных лабораторий, метрологическая экспертиза документации и отчетов о научно-исследовательских работах, аттестация методик измерений, метрологический надзор за обеспечением единства измерений).

Задачи прикладной метрологии:

➤ организация государственной службы единства мер и измерений, в том числе организация и осуществление периодической поверки средств измерительной техники, которые находятся в эксплуатации, организация и осуществление государственных испытаний новых средств измерительной техники, контроль за состоянием измерительного хозяйства предприятий;

➤ организация государственной службы стандартных справочных данных и стандартных образцов, в том числе издание официальных справочников со значениями констант и свойств веществ и материалов, изготовление и выпуск стандартных образцов и организация службы их аттестации;

➤ организация и осуществление службы контроля за соблюдением стандартов и технических условий во время производства, государственных испытаний и аттестации качества продукции.

2. Основные термины и их определения

В Украине действует утвержденный стандарт ДСТУ 2681-94 «Метрологія. Терміни та визначення». В июне 2004 года принят Закон Украины № 1765-IV «Про внесення змін до Закону України „Про метрологію та метрологічну діяльність”, в котором приведены, в частности основные термины и их определения.

МЕТРОЛОГИЯ – ЭТО НАУКА ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ, МЕТОДАХ И СРЕДСТВАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ЕДИНСТВА И СПОСОБАХ ДОСТИЖЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ.

Итак:

- измерения
- их единство
- их точность

ИЗМЕРЕНИЯ

Объекты материального мира имеют бесчисленное множество различных *свойств*: объем, масса, цвет и т.д. Для многих свойств применимы понятия «больше» – «меньше», например, масса Земли больше массы Луны; вкус лимона более кислый, чем апельсина. Для некоторых свойств применимы не только понятия «больше» – «меньше», но и *во сколько раз больше или меньше*: масса Земли в 81 раз больше массы Луны (приблизительно). Но нельзя сказать, что лимон во сколько-нибудь раз, например, в два раза кислее апельсина. А почему нельзя? Потому что для массы существует *единица измерения* – килограмм – а для вкусовых ощущений она ещё не создана.

Те свойства, для которых существуют единицы измерения, называют **ФИЗИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ**: длина, масса, сила электрического тока и т.д.

Физические величины содержат в себе качественный и количественный признаки. Качественный – что это за величина, например, сила электрического тока. Количественный – сколько единиц содержится в данной физической величине, например, 5,4 А. Здесь 5,4 А – *значение* силы электрического тока (далее для краткости просто «тока»). Нельзя говорить «величина тока 5,4 А», потому что *величина* – это сам ток. Надо говорить: «значение тока 5,4 А».

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА – ЭТО СВОЙСТВО, ОБЩЕЕ В КАЧЕСТВЕННОМ ОТНОШЕНИИ МНОГИХ ФИЗИЧЕСКИМ ОБЪЕКТАМ, НО ИНДИВИДУАЛЬНОЕ В КОЛИЧЕСТВЕННОМ.

Результат измерения – это *именованное число*, например, 5,83 мкА.

Но как получить это число? Нужно сравнить данную величину с её единицей (или с её дольной единицей). Единица электрического тока – ампер. Но что такое ампер? Как определена эта единица? Вот теоретическое определение:

«Ампер равен силе не изменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенными в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную 2×10^{-7} Н».

Совершенно ясно, что практически всё это недостижимо: бесконечная длина, вакуум. Практически ампер воплощается в *этало*не ампера.

По своему смыслу эталон – это *мера*. Его назначение – хранить и воспроизводить физическую величину заданного размера.

Но простейшая линейка – это тоже мера, мера длины. Эталоны – это меры высшей точности. Это очень дорогие устройства, которые хранятся в метрологических институтах. Они находятся в специальных помещениях со стабильной температурой. Есть специальная должность – хранитель эталона.

По длинной цепочке размер единицы передаётся от самого точного первичного эталона ко вторичному, далее к рабочим эталонам и наконец до рабочих измерительных приборов и мер.

В некоторых редких случаях для выполнения измерения достаточно только меры: измерение длины линейкой. Длина непосредственно воспринимается зрением. В большинстве же случаев одной меры недостаточно. Например, массу какого-либо тела можно измерить путём взвешивания на рычажных весах. Здесь тоже присутствует мера – это гири, но одних гирь недостаточно, нужны весы. Весы вместе с гирями – это *измерительный прибор*, в котором мера присутствует непосредственно. Есть другие весы, пружинные, со шкалой и стрелкой.

Теперь можно дать определение понятию «измерение»:

ИЗМЕРЕНИЕ – ЭТО СОВОКУПНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА, ХРАНЯЩЕГО ЕДИНИЦУ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НАХОЖДЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ ИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ С ЕЁ ЕДИНИЦЕЙ И ПОЛУЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ЭТОЙ ВЕЛИЧИНЫ.

Основное уравнение измерения имеет вид:

$$Q = qU, \quad (1.1)$$

где Q – значение ФВ;

q – числовое значение (количество единиц) ФВ;

U – единица измерения ФВ.

Измерить какую-либо физическую величину – это узнать, сколько в ней содержится единиц.

Физические величины могут быть:

- механические – сила, давление, ...
- пространства и времени – длина, время, скорость, ...
- тепловые – температура, теплоёмкость, теплопроводность, ...
- электрические – ток, напряжение, мощность, сопротивление, ...
- световые – сила света, световой поток, освещённость, ...
- акустические – скорость звука, звуковое давление, ...

По характеру проявления размеров в процессе исследований ФВ разделяют на:

- энергетические (активные), сами проявляющие свои размеры (температура, ток, напряжение, мощность);
- параметрические (пассивные), проявляющиеся при действии на объект активной ФВ (сопротивление, ёмкость, индуктивность).

ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ – ЭТО СОСТОЯНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИ КОТОРОМ ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫРАЖЕНЫ В УЗАКОНЕННЫХ ЕДИНИЦАХ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ НЕ ВЫХОДЯТ ЗА УСТАНОВЛЕННЫЕ ГРАНИЦЫ С ЗАДАННОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ.

«Узаконенные единицы» – это единицы СИ и некоторые внесистемные единицы, разрешённые к применению (их около 20, например, тонна, гектар).

ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Количественно точность измерений характеризуется *погрешностями измерений*. Есть две формы выражения погрешностей измерения:

- *абсолютная* погрешность измерения Δ ;
- *относительная* погрешность измерения δ .

Абсолютная погрешность измерения:

$$\Delta = X - X_{\text{ист}}, \quad (1.2)$$

где X – результат измерения;

$X_{\text{ист}}$ – истинное значение измеряемой величины.

Здесь $X_{\text{ист}}$ принципиально неизвестно (иначе, зачем было бы измерять?!), поэтому формула (1.2) годится только для теоретических исследований. На практике вместо неё применяется другая:

$$\Delta = X - X_{\text{д}}, \quad (1.3)$$

где $X_{\text{д}}$ – действительное значение измеряемой величины, достаточно близкое к $X_{\text{ист}}$, так что может использоваться вместо него.

В отличие от $X_{\text{ист}}$ значение $X_{\text{д}}$ доступно для практического получения с помощью средства измерений, в достаточной мере более точного, чем данное, давшее результат X .

Для того, чтобы не путаться в знаке погрешности, запомним, что всегда

ПОГРЕШНОСТЬ – ЭТО ИЗМЕРЕННОЕ МИНУС ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ

Относительная погрешность измерения:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} = 100 \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} (\%), \text{ или} \quad (1.4)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{д}}} = 100 \frac{\Delta}{X_{\text{д}}} (\%).$$

Поскольку $\Delta \ll X_d$, т.е. X и X_d близки, часто используют формулу

$$\delta = \frac{\Delta}{X} = 100 \frac{\Delta}{X} (\%), \quad (1.5)$$

потому что обычно известно не X_d , а X .

Выполнив измерение, недостаточно указать только его результат X . Обязательно нужно определить и указать граничное значение погрешности $\Delta_{гр}$ при некоторой близкой к единице вероятности, например, при вероятности $P = 0,95$. Что это значит? Дело в том, что мы не знаем конкретного значения Δ , но с вероятностью P можем утверждать, что

$$-\Delta_{гр} \leq \Delta \leq \Delta_{гр}. \quad (1.6)$$

Другими словами, мы не знаем $X_{ист}$, но с вероятностью P можем утверждать, что $X_{ист}$ находится в интервале

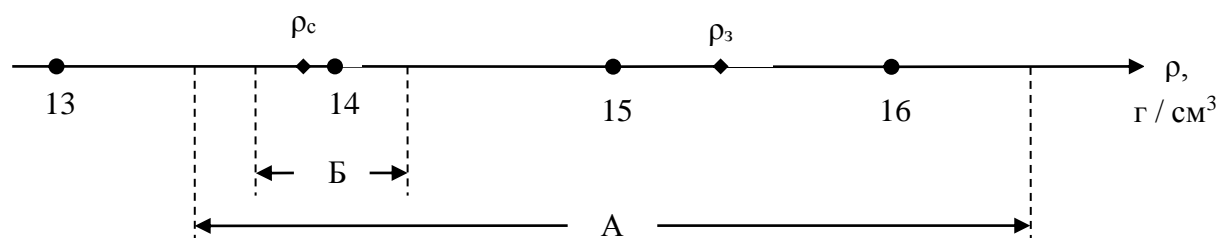
$$X - \Delta_{гр} \leq X_{ист} \leq X + \Delta_{гр}. \quad (1.7)$$

Бывают случаи, когда без указания $\Delta_{гр}$ результат X становится бессмысленным или даже вредным.

Примером может служить древняя задача, которую, по преданию, решал Архимед. Его попросили определить, изготовлена ли корона из золота или это подделка – гораздо более дешёвый сплав, внешне похожий на золото. Архимед знал плотности золота и подозреваемого сплава: $\rho_z = 15,5 \text{ г / см}^3$; $\rho_c = 13,8 \text{ г / см}^3$. Плотность короны обозначим ρ_k . Для определения ρ_k обратились к двум экспертам А и Б. Результаты их работы:

	Эк сперт А	Эк сперт Б
Оценка $\rho_k, \text{ г / см}^3$	15	13, 9
Вероятный интервал $\rho_k, \text{ г / см}^3$	13, 5 – 16,5	13, 7 – 14,1

Покажем эти результаты на графике:



Замечания:

1) Интервалы А и Б перекрываются, значит, оба измерения *правильны*, т.е. не противоречивы. Если бы интервалы не перекрывались, естественно было бы считать, что хотя бы один эксперт ошибся.

2) Погрешность измерения эксперта А столь велика, что его результат *бесполезен*: в его интервал попали и ρ_z и ρ_c , значит, нельзя узнать, из чего сделана корона.

3) Данные эксперта Б ясно говорят, что корона *фальшивая*: в его интервал попадает ρ_c и не попадает ρ_z .

4) Значит, для того, чтобы по результатам измерений можно было сделать правильный вывод, погрешность измерения *не должна быть слишком большой*, как у эксперта А. Однако, нет

необходимости в том, чтобы она была очень мала. Она должна быть *разумно мала*, как у эксперта Б.

Главный вывод: оба измерения были бы бессмысленны, если бы они не содержали сведений о погрешностях. Более того, результат эксперта А наталкивал бы на мысль, что корона золотая.

Итак, кроме самого результата измерения должны быть указаны границы интервала, в котором с данной вероятностью находится истинное значение измеряемой величины. Этот интервал называют *доверительным интервалом*, а эту вероятность – *доверительной вероятностью*.

Пример записи результата измерения:

$$(5,481 \pm 0,025) \text{ мА}; P = 0,95.$$

Размер доверительного интервала при данной доверительной вероятности характеризует *точность*. Чем уже интервал при той же вероятности, т.е. чем меньше погрешность, тем выше точность.

Если интервал не указан, количество разрядов числа, выражающего результат измерения, ориентировочно свидетельствует о точности. Сравните, например, две записи: 5,4 А и 5,43135 А.

При этом не следует думать, что чем точнее, тем лучше. И это не только потому, что чем точнее, тем дороже обойдётся полученный результат. При увеличении точности мы обязательно столкнёмся с тем, что наша мысленная модель объекта перестаёт быть адекватной самому объекту.

Простой пример. Пусть нам надо измерить высоту проёма двери. Мы можем взять рулетку и измерить с погрешностью, не выходящей за пределы $\pm 0,5$ см. Но если мы захотим произвести более точное измерение, например, такое, что погрешность не выходит за пределы $\pm 0,5$ мм, мы обнаружим, что наша модель проёма в виде прямоугольника перестаёт быть адекватной: высота не одинакова по ширине.

Поэтому, строго говоря, понятие *физическая величина* относится не к самому объекту, а к его модели. По мере уточнения результатов измерений можно переопределять модель. Например, может выясниться, что модель проёма – это не прямоугольник, а трапеция.

3. Международная система единиц физических величин (ФВ)

Обилие единиц для одной и той же величины – большое неудобство. В 18 веке в Европе были сотни различных «футов». Постепенно пришли к ограниченному числу *систем единиц*, а идеал – одна система для всего мира.

В 1960 году большинство стран мира приняло международную систему – в русской транскрипции СИ (система интернациональная), в международной – SI (System International).

В Украине применяются единицы измерения Международной системы единиц, принятой Генеральной конференцией по мерам и весам и рекомендованной Международной организацией законодательной метрологии.

Система единиц – это совокупность независимых и производных единиц, которая охватывает все или некоторые составляющие измерений и создана таким образом, что соотношения между единицами определяются уравнениями зависимости, за исключением соотношений между независимыми единицами.

Как любая система единиц, она содержит несколько независимых **основных** единиц:

- единица длины – метр (м, m);
- единица массы – килограмм (кг, kg);
- единица времени – секунда (с, s);
- единица силы электрического тока – ампер (А, A);
- единица термодинамической температуры – кельвин (К, K);
- единица силы света – кандела (кд, cd);
- единица количества вещества – моль (mol);

две дополнительные:

- радиан (рад) – для измерения плоского угла (угла между двумя радиусами круга, длина дуги между которыми равна радиусу);
- стерadian (ср) – для измерения телесного угла (угла с вершиной в центре сферы, который вырезает на ее поверхности площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы).

и множество (больше ста) **производных** единиц. Они образуются из основных на основе фундаментальных физических законов. Например, вольт:

$$V = \frac{Вт}{А} = \frac{Дж}{с \times А} = \frac{Н \times м}{с \times А} = \frac{кг \times м^2}{с^3 \times А}$$

Некоторые производные единицы измерения:

- единица силы – ньютон (Н); $1 кг = 9,80625 Н$;
- единица работы – джоуль (Дж); $1 Дж = 1 Н \cdot 1 м$;
- единица мощности – Ватт (Вт); $1 Вт = 1 Дж : 1 с$;
- единица давления, механического напряжения – паскаль (Па); $1 Па = 1 Н : 1 м^2$;
- единица электрического напряжения – вольт (В), $1 В = 1 Вт : 1 А$;
- единица электрического сопротивления – Ом (Ом), $1 Ом = 1 Вт : 1 А$;
- единица количества электричества – кулон (Кл), $1 Кл = 1 А \cdot 1 с$;
- единица скорости линейной - м/с;
- единица ускорения – м/с²;
- единица угловой скорости – рад/с;
- единица углового ускорения – рад/с²;
- единица частоты периодического процесса – Гц;
- единица частоты вращения - с⁻¹;
- единица плотности - кг/м³;
- единица удельного объема - м³/кг.

Физические величины принимают свои значения в широких диапазонах. Чтобы избежать чисел с большим количеством нулей, применяют *кратные* и *дольные* единицы. Для снижения вероятности ошибок при расчетах кратные и дольные единицы советуют подставлять только в конечный результат.

В табл. 1.2 приведены приставки и множители, используемые для образования кратных и дольных единиц.

Таблица 1.1

Приставки и множители для образования кратных и дольных единиц

Множитель	Приставки	Обозначение приставки	
		украинское	международное
10^{18}	экса	Э	E
10^{15}	пета	П	P
10^{12}	тера	Т	T
10^9	гига	Г	G
10^6	мега	М	M
10^3	кило	к	k
10^2	гекто	г	h
10^1	дека	да	da
10^{-1}	деци	д	d
10^{-2}	санти	с	c
10^{-3}	милли	м	m
10^{-6}	микро	мк	μ
10^{-9}	нано	н	n
10^{-12}	пико	п	p
10^{-15}	фемто	ф	f
10^{-18}	атто	а	a

Например, $10^{-3}\text{м}=1\text{мм}$; $10^{-6}\text{м}=1\text{мкм}$.

Несистемные единицы, которые допускают к применению на одном уровне с единицами СИ:

- масса – т (в перспективе – мегаграмм);
- время – мин, час, сутки;
- емкость – л (дм^3);
- плоский угол – градус - ...°; минута - ...'; секунда - ".

Их использование связано с рациональностью применения, историческими традициями.

В некоторых отраслях пользуются английской (дюймовой) системой мер – совокупностью единиц ФВ, основой которой является единица длины ярд (1 ярд=36 дюймам). По международному соглашению принято, что дюйм равен 0,0254 м.

Основными преимуществами системы СИ являются:

- 1) универсальность (она охватывает все аспекты отрасли измерений);
- 2) согласованность (все производные единицы образованы по единому правилу, которое исключает появление в формулах коэффициентов, что значительно упрощает расчеты);
- 3) возможность создания новых производных единиц с развитием науки и техники на основе принятых;
- 4) удобство в практическом использовании большинства единиц системы и др.

4.Эталоны единиц ФВ. Поверочные схемы

Эталоны создают для воспроизведения и (или) хранения единиц физических величин (далее – единиц) и передачи их размерам средствам измерений, применяемым в стране, с целью обеспечения единства измерений. При помощи эталона воспроизводят и (или) хранят одну единицу или несколько взаимосвязанных единиц.

ЭТАЛОН – СРЕДСТВО ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ (СИТ), ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ И (ИЛИ) ХРАНЕНИЕ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОГО ИЛИ НЕСКОЛЬКИХ ЗНАЧЕНИЙ, ПЕРЕДАЧУ РАЗМЕРА ЭТОЙ ЕДИНИЦЫ ДРУГИМ СИТ, И ОФИЦИАЛЬНО УТВЕРЖДЕННЫЙ КАК ЭТАЛОН.

Эталоны по подчиненности подразделяют на первичные (исходные) и вторичные (подчиненные).

Первичные – эталоны, обеспечивающие воспроизведение и хранение единицы физической величины с наивысшей в стране точностью.

Первичные эталоны в зависимости от условий воспроизведения единицы могут иметь разновидность – *специальные первичные эталоны* (далее – специальные эталоны). Специальный эталон воспроизводит единицу в особых условиях (высокое давление или температура, среда с парами кислот, щелочей и др.).

Официально утвержденные в качестве исходных для страны первичные или специальные эталоны называются *государственными*.

Государственные эталоны представляют собой национальное достояние и поэтому должны храниться в метрологических институтах страны (НИИ Госпотребстандарта) в специальных эталонных помещениях, где поддерживается строгий режим по влажности, температуре, вибрациям и другим параметрам.

Для обеспечения единства измерений величин в международном масштабе большое значение имеют международные сличения национальных государственных эталонов. Эти сличения помогают выявить систематические погрешности воспроизведения единицы национальными эталонами, установить, насколько национальные эталоны соответствуют международному уровню, и наметить пути совершенствования национальных (государственных) эталонов. Международные эталоны хранятся в Международном бюро мер и весов (например, прототип килограмма – платиново-иридиевая гиря).

Эталон, получающий размер единицы путем сличения с первичным эталоном рассматриваемой единицы, называется *вторичным* эталоном.

Основанием для создания подчиненных эталонов является целесообразность:

- предохранения исходного эталона от преждевременного износа;
- обеспечения сличений эталонов;
- контроля за неизменностью размера единицы, воспроизводимой исходным эталоном.

К вторичным эталонам относят эталоны-копии, эталоны сравнения и рабочие эталоны.

Эталон-копии предназначены для передачи размера единицы рабочим эталонам.

Эталон сравнения предназначен для взаимного сличения эталонов, которые по тем или иным причинам нельзя непосредственно сличать друг с другом.

Рабочие эталоны предназначены для поверки наиболее точных рабочих средств измерений.

В течение всего срока службы эталонов исследуют их свойства с целью обеспечения неизменности размеров воспроизводимых и (или) хранимых ими единиц и повышения точности эталонов.

Для наблюдения за правильным хранением, сличением и исследованием эталонов, а также выполнением других требований назначают ученых хранителей эталонов.

В случае если невозможно применить государственный эталон (отказ, утрата и др.), его функцию по решению Госпотребстандарта временно передают вторичному эталону.

Часто эталонами являются громоздкие системы, состоящие из множества приборов и оборудования. Так, например, для установления единицы света (канделы) необходим эталон в виде трубки из оксида тория, погруженной в расплавленную платину, поскольку кандела – это сила света, излучаемого с поверхности площадью $1/60000 \text{ м}^2$ в перпендикулярном направлении при температуре излучателя, равной температуре твердения платины при давлении 101 325 Па.

Первичные эталоны основных единиц ФВ

Первичный эталон единицы длины – метр, равный длине пути, который проходит в вакууме свет за $1/299792458$ долю секунды.

Первичный эталон единицы массы – килограмм – гиря из специального немагнитного (платиново-иридиевого) сплава, выполненная в форме цилиндра, высота которого равна диаметру. Масса прототипа более чем за 60 лет применения изменилась всего лишь на 0,017 мг.

Первичный эталон времени – секунда – равна 9192631770 периодам излучения, что соответствует переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. Стабильность частоты цезиевого эталона является следствием квантовых закономерностей, которые обуславливают постоянство энергии перехода атомов с одного энергетического уровня на другой при отсутствии внешних магнитных полей.

Первичный эталон единицы силы электрического тока – ампер – равен силе не изменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенными в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \times 10^{-7} \text{ Н}$.

Первичный эталон единицы температуры – единица термодинамической температуры – кельвин – $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды. Тройная точка воды – это состояние равновесия ее твердой, жидкой и газообразной фаз. Вместе с термодинамической температурой Кельвина используется также и термодинамическая температура Цельсия, единицей которой является градус Цельсия $^{\circ}\text{C}$. Связь между температурой Кельвина и температурой Цельсия выражается соотношением

$$t^{\circ}\text{C} = TK - 273,16K,$$

где t – температура Цельсия в международной практической температурной шкале 1968 г.;

T – температура Кельвина;

273,16K – температура точки плавления льда по шкале Кельвина.

Первичный эталон единицы силы света – кандела, равная силе света в заданном направлении источника, который выпускает монохроматическое излучение частотой

$540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср.

Частота $540 \cdot 10^{12}$ Гц соответствует длине волны 555,016 нм для стандартной атмосферы.

Единица количества вещества – моль, равный количеству вещества системы, которая содержит столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг. Точно воспроизвести единицу количества вещества можно разными способами, например, сжигая 0,012 кг углерода в чистом кислороде, получим точно один моль молекул углекислого газа.

Передачу размеров единиц от эталонов следует производить в соответствии с поверочными схемами, требования к которым установлены стандартом.

Передача размеров единиц ФВ от эталонов рабочим мерам и измерительным приборам осуществляется с помощью рабочих эталонов (рис. 1.1).

Рабочие эталоны при необходимости подразделяются на разряды 1;2 и т.д., определяющие порядок их соподчинения в соответствии с поверочной схемой. Исходя из требований практики для различных видов измерений устанавливают различное число разрядов рабочих эталонов, определяемых стандартами на поверочные схемы для данного вида измерений.



Рисунок 1.1 – Обобщенная схема передачи размера единиц физических величин

Обеспечение правильной передачи размера единиц ФВ во всех звеньях метрологической цепи осуществляется посредством поверочных схем.

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.

Поверочные схемы оформляют в виде чертежа, элементы которого приведены на рис. 1.2.

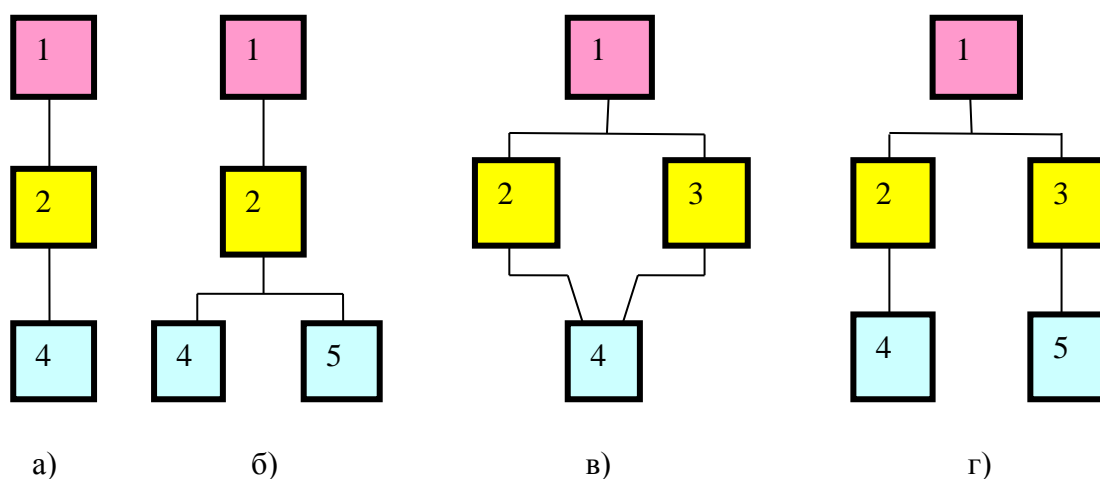


Рис. 1.2. Элементы графического изображения поверочных схем при передаче размера от эталона к объекту поверки: 1 – эталон; 2 и 3 – методы передачи размера единицы; 4 и 5 – объекты поверки.

На чертежах поверочной схемы должны быть указаны:

- наименования СИ и методов поверки;
- номинальные значения ФВ или их диапазоны;
- допускаемые значения погрешностей СИ;
- допускаемые значения погрешностей методов поверки.