

1.3. Нормирование метрологических характеристик средств измерения

1.3.1. Виды средств измерений

Средством измерения называют техническое средство (или их комплекс), используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики. Средства измерения позволяют не только обнаружить физическую величину, но и измерить ее, т. е. сопоставить неизвестный размер с известным.

Если физическая величина известного размера есть в наличии, то она непосредственно используется для сравнения. Если же такой физической величины в наличии нет, то сравнивается реакция (отклик) прибора на воздействие измеряемой величины с проявившейся ранее реакцией на воздействие той же величины, но известного размера. Для облегчения сравнения еще на стадии изготовления прибора отклик на известное воздействие фиксируют на шкале отсчетного устройства, после чего наносят на шкалу деления в кратном и дольном отношении. Описанная процедура называется *градуировкой шкалы*. При измерении она позволяет по положению указателя получать результат сравнением непосредственно по шкале отношений.

Итак, средство измерения в простейшем случае производит две операции: обнаружение физической величины и сравнение неизвестного размера с известным, или сравнение откликов на воздействие известного и неизвестного размеров.

Другими отличительными признаками средств измерений являются, во-первых, «умение» хранить (или воспроизводить) единицу физической величины; во-вторых, неизменность размера хранимой единицы. Измерять можно только тогда, когда техническое средство, предназначенное для этой цели, может хранить единицу, достаточно неизменную по размеру (во времени).

Средства измерений можно классифицировать по многим признакам (рис. 1.6). Рассмотрим классификацию по двум основным признакам: конструктивное исполнение и метрологическое назначение.

По конструктивному исполнению средства измерений подразделяются на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы; измерительные установки; измерительные системы.

Меры физической величины – средства измерений, предназначенные

для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров. Различают меры:

- однозначные, воспроизводящие физическую величину одного размера (гиря 1 кг, конденсатор постоянной емкости, образцы твердости, шероховатости);

- многозначные, воспроизводящие физическую величину разных размеров (масштабная линейка, конденсатор переменной емкости);

- набор мер – комплект мер разного размера одной и той же физической величины, предназначенных для применения на практике как в отдельности, так и в различных сочетаниях (набор гирь, набор калибров);

- магазин мер – набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях (магазин электрических сопротивлений).

К однозначным мерам можно отнести *стандартные образцы*. Существуют стандартные образцы состава и стандартные образцы свойств.

Стандартные образцы состава вещества (материала) – стандартный образец с установленными значениями величин, характеризующих содержание определенных компонентов в веществе (материале).

Стандартный образец свойств веществ (материалов) – стандартный образец с установленными значениями величин, характеризующих физические, химические, биологические и другие свойства.

Новые стандартные образцы допускаются к использованию при условии прохождения ими метрологической аттестации. Метрологическая аттестация проводится органами метрологической службы.

Измерительные преобразователи – средства измерений, служащие для преобразования измеряемой величины в другую величину или сигнал измерительной информации, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, но не доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Это термопары, преобразователи давления и т. д.

По характеру преобразования различают аналоговые, цифро-аналоговые, аналого-цифровые преобразователи.

По месту в измерительной цепи различают первичные и промежуточные преобразователи.

Если преобразователи не входят в измерительную цепь и их метрологические свойства не нормированы, то они не относятся к измерительным.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для

получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. Прибор, как правило, содержит устройство для преобразования измеряемой величины и ее индикации в форме, наиболее доступной для восприятия. Во многих случаях устройство для индикации имеет шкалу со стрелкой или другим устройством, диаграмму с пером или цифрууказатель, с помощью которых могут быть произведены отсчет или регистрация значений физической величины.

Различают приборы прямого действия и приборы сравнения.

Приборы прямого действия отображают измеряемую величину на показывающем устройстве, имеющем соответствующую градуировку в единицах этой величины (амперметры, вольтметры, манометры). Изменения рода физической величины при этом не происходит. Приборы сравнения предназначаются для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны (компараторы).

По степени индикации значений измеряемой величины измерительные приборы подразделяются на показывающие и регистрирующие.

Показывающий прибор допускает только отсчитывание показаний измеряемой величины (микрометр, аналоговый или цифровой вольтметр).

В регистрирующем приборе предусмотрена регистрация показаний – в форме диаграммы, путем печатания показаний (термограф, разрывная машина с пишущим элементом, измерительный прибор, сопряженный с ЭВМ, дисплеем и устройством для печатания показаний).

Измерительная установка – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенных для измерений одной или нескольких физических величин и расположенных в одном месте. Примером являются установка для измерения удельного сопротивления электротехнических материалов, установка для испытаний магнитных материалов. Измерительную установку, предназначенную для испытаний каких-либо изделий, иногда называют испытательным стендом. Измерительная установка позволяет предусмотреть определенный метод измерения и заранее оценить погрешность измерения.

Измерительная система – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого пространства с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому пространству.

Примером может служить радионавигационная система для определения местоположения судов, состоящая из ряда измерительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительном расстоянии друг от друга.

По метрологическому назначению все средства измерений подразделяются на два вида – рабочие и эталоны.

Рабочие средства измерений предназначены для проведения технических измерений. По условиям применения они могут быть: лабораторными, используемыми при научных исследованиях, проектировании технических устройств, медицинских измерениях; производственными, используемыми для контроля характеристик технологических процессов, контроля качества готовой продукции, контроля отпуска товаров; полевыми.

К каждому виду предъявляются специфические требования: к лабораторным – повышенная точность и чувствительность; к производственным – повышенная стойкость к ударно-вибрационным нагрузкам, высоким и низким температурам; к полевым – повышенная стабильность в условиях резкого перепада температур, высокой влажности.

Особым средством измерений является эталон.

Эталоны являются высокоточными средствами измерений, а поэтому используются для проведения метрологических измерений в качестве средств передачи информации о размере единицы. Передача размера осуществляется в процессе поверки средства измерения. Целью поверки является установление пригодности его к применению.

Многообразие средств измерений обуславливает необходимость применения специальных мер по обеспечению единства измерений.

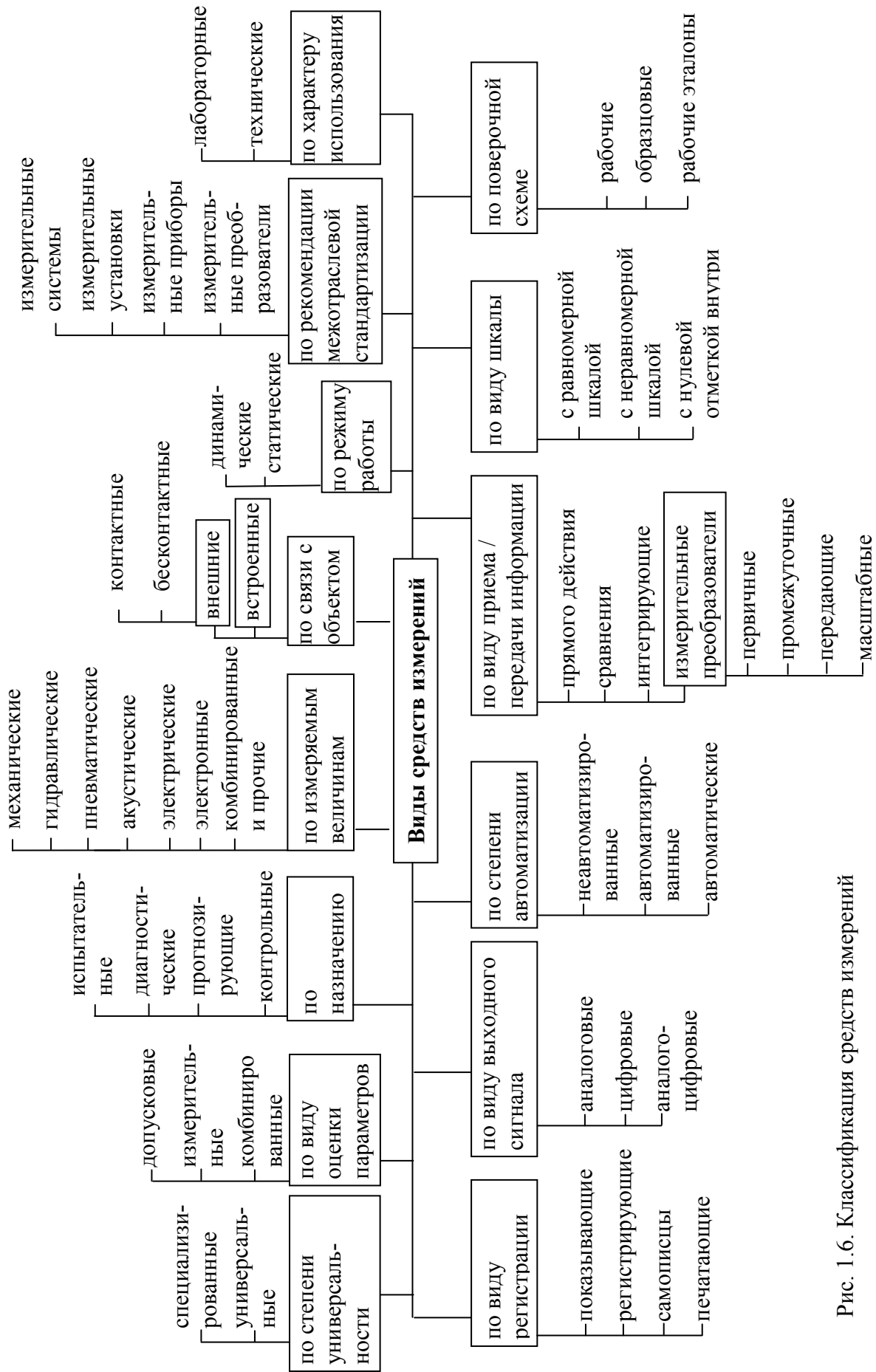


Рис. 1.6. Классификация средств измерений

1.3.2. Эталоны, их классификация, перспективы развития

Эталон – это высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее размера другим средствам измерений.

Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя тесно связанными друг с другом существенными признаками: неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

Неизменность – свойство эталона поддерживать неизменный размер воспроизводимой им единицы физической величины длительное время.

Воспроизводимость – возможность воспроизведения единицы физической величины с наименьшей погрешностью для существующего уровня развития измерительной техники.

Сличаемость – возможность обеспечения сличения с эталоном других средств измерений, нижестоящих по поверочной схеме.

Эталоны классифицируют следующим образом.

Первичный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. *Государственный первичный эталон* – первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства. Пример: государственные эталоны метра, килограмма, секунды, ампера, кельвина, канделы, ньютона, паскаля, вольта, беккереля.

При хранении первичного эталона выполняют регулярные его исследования, включая сличения с национальными эталонами других стран с целью повышения точности воспроизведения единицы и совершенствования методов передачи ее размера.

Для руководства работ по хранению государственных эталонов устанавливают специальную категорию должностных лиц – ученых хранителей государственных эталонов, назначаемых из числа ведущих в данной области специалистов-метрологов.

Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы. К вторичным эталонам относят эталоны-копии, рабочие эталоны и эталоны сравнения.

Эталон-копия – вторичный эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим эталонам и заменяющий в обоснованных случаях первичный эталон.

Рабочий эталон – вторичный эталон, предназначенный для передачи

размера единицы образцовым и наиболее точным рабочим средствам измерений.

Международный эталон – эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами. Пример: международный прототип килограмма, хранимый в Международном бюро мер и весов, утвержден 1-й Генеральной конференцией по мерам и весам.

Самыми первыми официально утвержденными эталонами стали прототипы метра и килограмма, изготовленные во Франции, которые в 1799 г. были переданы на хранение в Национальный архив Франции, поэтому их стали называть «метр Архива» и «килограмм Архива». Постоянно проводятся уточнения принятых эталонов. В 1983 г. за эталон метра было принято расстояние, проходимое светом в вакууме за $1/299792\,458$ долю секунды. Данное определение метра было законодательно закреплено в декабре 1985 г. после утвержденных эталонов времени, частоты и длины.

При становлении метрической системы мер в качестве единицы массы приняли массу одного кубического дециметра чистой воды при температуре ее наибольшей плотности ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Изготовленный при этом первый прототип килограмма представляет собой платиноиридиевую цилиндрическую гирю высотой и диаметром 39 мм. Данное определение эталона килограмма действует до сих пор. За 100 с лишним лет существования описанного прототипа килограмм были попытки создать более современный эталон на основе фундаментальных физических констант масс различных атомных частиц. Однако на современном уровне научно-технического прогресса пока не удалось воспроизвести этим новейшим методом массу килограмма с меньшей погрешностью, чем существующая.

Число эталонов не является постоянным, а изменяется в зависимости от потребностей экономики страны. Обычно прослеживается увеличение их числа во времени, что обусловлено постоянным развитием рабочих средств измерений.

В течение двух последних лет утверждено несколько государственных эталонов. Среди них – первичные эталоны твердости, единицы энергетической яркости инфракрасного излучения, единицы электрического напряжения, единицы линейного ускорения и плоского угла при угловом перемещении твердого тела. Последние представляют

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: