

В. Ю. ШИШМАРЁВ

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УЧЕБНИК

Допущено

*Экспертным советом по профессиональному образованию
в качестве учебника для использования в учебном процессе
образовательных учреждений, реализующих программы среднего
профессионального образования*

5-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2013

УДК 621.3.08(075.32)
ББК 30.10я723
Ш657

Рецензенты:

преподаватель спецдисциплин 14 категории, председатель предметной комиссии радиоэлектронных приборов Московского техникума космического машиностроения *Т. В. Киселева*;
начальник метрологического центра ФГУП «Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения» *Л. Я. Губер*

Шишмарёв В. Ю.

Ш657 Измерительная техника : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Ю. Шишмарёв. — 5-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 288 с.
ISBN 978-5-7695-9800-5

Приведены основные понятия о физических величинах, их единицах и эталонах, системах единиц. Представлены методы измерений и классификация средств измерений. Рассмотрены метрологические показатели измерений. Показаны схемы и рассмотрены принципы работы типовых механизмов и измерительных цепей приборов. Основное внимание уделено методам и средствам электрических, магнитных и радиотехнических измерений. Рассмотрены также методы и приборы для электрических измерений неэлектрических величин. Изложены основы построения Государственной системы обеспечения единства измерений.

Учебник может быть использован при освоении профессионального модуля ПМ.01 «Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования (МДК.01.04)» для специальности 140448 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.3.08(075.32)
ББК 30.10я723

Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается

© Шишмарёв В. Ю., 2008
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2008
© Оформление. «Издательский центр «Академия», 2008

ISBN 978-5-7695-9800-5

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- АИМ — амплитудно-импульсная модуляция
- АИП — аналоговый измерительный прибор
- АЦП — аналого-цифровой преобразователь
- АЧХ — амплитудно-частотная характеристика
- АЭП — аналоговый электроизмерительный прибор
- БПФ — быстрое преобразование Фурье
- ВАП — входной аналоговый преобразователь
- ВЧ — высокая частота
- ГКМВ — Генеральная конференция по мерам и весам
- ГКЧ — генератор качающейся частоты
- ГЛИН — генератор линейно изменяющихся напряжений
- ГМС — Государственная метрологическая служба
- ГС — генератор сигнала
- ГСС — генератор стандартных сигналов
- ДПФ — дискретное преобразование Фурье
- ДРФ — дискретная решетчатая функция
- ЗЦО — запоминающий цифровой осциллограф
- ИВ — импульсный вольтметр
- ИП — измерительный прибор
- ЛБВ — лампа бегущей волны
- ЛПД — лавинно-пролетный диод
- МХ — метрологическая характеристика
- НЧ — низкая частота
- ОГ — осциллографический гальванометр
- ОС — обратная связь
- РСК — Российская служба калибровки
- СВЧ — сверхвысокая частота
- СКО — среднее квадратичное отклонение
- УПЧ — усилитель промежуточной частоты
- ФАПЧ — фазовая автоподстройка частоты
- ФЧХ — фазочастотная характеристика
- ЦАП — цифровой аналоговый преобразователь
- ЦИП — цифровой измерительный прибор
- ЦОУ — цифровое отсчетное устройство
- ЭДС — электродвижущая сила
- ЭЛО — электронно-лучевой осциллограф
- ЭЛТ — электронно-лучевая трубка
- ЭСЧ — электронно-счетный частотомер

Формирование мировоззрения человека сопровождается возникновением множества задач, для решения которых необходимо располагать количественной информацией о том или ином свойстве объектов материального мира (явления, процесса, вещества, изделия).

К основному способу получения такой информации относятся измерения, при правильной организации и четком выполнении которых получают результат, с определенной точностью отражающий интересующие свойства измеряемого объекта или процесса. Измерительная информация является основой для принятия технических и управленческих решений при испытаниях продукции, оценивании ее технического уровня, аттестации и сертификации качества.

В настоящее время измерительная техника широко применяется в целях автоматического контроля, автоматизации производственных процессов и научно-исследовательской работы во всех областях знаний. Точные методы и технологии, требующие измерений, широко используются в машиностроении, химии, медицине и других отраслях.

Из многолетнего опыта известно, что для формирования специалиста систематизированные основы знаний более ценны, чем изучение отдельных разделов какой-либо дисциплины, поэтому в данном учебнике приведены основные методы и метрологические показатели измерений, современная терминология и классификация методов и средств измерений, принципиальные схемы измерительных приборов и вопросы оценки погрешностей измерений. В учебнике также рассмотрены конкретные конструкции измерительных приборов, созданные на базе установившихся методов.

Любой измерительный прибор состоит из ряда преобразователей одной физической величины в другую, поэтому в учебнике последовательно рассмотрены различные системы преобразователей, объединенные по виду функции преобразования, приведены основные методы измерений и типовые схемы измерительных приборов, сгруппированные по измеряемым величинам. Подобное изложение материала соответствует научной

классификации современных методов и средств измерительной техники.

Необходимый уровень точности должен определяться критериями технической и экономической целесообразности. Известно, что повышение точности измерений в два раза удорожает процесс измерения в несколько раз. В то же время снижение точности измерения в производстве ниже определенной нормы приводит к браку продукции.

Очевидно, что измерения, производимые с помощью разнообразных по принципу действия методик применения и точности средств измерения, могут быть полезны лишь тогда, когда их результатам можно доверять, а результаты измерений, полученные разными экспериментаторами в разное время и различных местах, при необходимости можно сопоставить между собой. Кроме того, должно существовать единство измерений от конкретного предприятия до государства в целом. Для этого метрология наделена законодательными функциями. Законы в области метрологии разрабатываются с учетом норм и правил выполнения измерений, требований, направленных на достижение единства измерений, порядка разработки и испытаний средств измерений. В них устанавливаются термины и определения, единицы физических величин и правила их применения. Все эти нормы, правила и требования определяются стандартами Государственной системы обеспечения единства измерений и другими обязательными к применению нормативно-техническими документами.

Выполнение различных измерений требует изучения методов измерений и основных принципов построения средств измерений физических величин. Поэтому в первую очередь следует освоить методы измерений. Это обусловлено тем, что именно методы измерений и физические принципы работы приборов являются наиболее постоянными компонентами, тогда как конкретные схемные решения и элементная база средств измерения непрерывно изменяются и совершенствуются.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. Физические величины как объект измерений

Объектом измерений являются физические величины, которые принято делить на основные и производные. *Основные величины* независимы друг от друга, но важны для установления связей с другими физическими величинами, которые называют *производными*. Например, в формуле Эйнштейна основной величиной является масса, а производной — энергия. Основным величинам соответствуют основные единицы измерений, а производным — производные. Совокупность основных и производных единиц представляет собой *систему единиц физических величин*.

Первой системой единиц считается метрическая система, в которой за основную единицу длины был принят метр, а за единицу веса¹ — вес 1 см³ химически чистой воды при температуре около 4 °С — грамм (позже — килограмм). В 1799 г. были изготовлены первые прототипы (эталоны) метра и килограмма. Кроме этих двух единиц метрическая система в своем первоначальном варианте включала в себя единицы площади (ар — площадь квадрата со стороной 10 м), объема (стер — объем куба с ребром 10 м) и вместимости (литр — объем куба с ребром 0,1 м). Таким образом, в метрической системе еще не было четкого подразделения единиц величин на основные и производные.

Понятие системы единиц как совокупности основных и производных впервые предложил немецкий ученый К. Ф. Гаусс в 1832 г. За основные единицы в этой системе были приняты: единица длины — миллиметр, единица массы — миллиграмм, единица времени — секунда. Эту систему единиц называли *абсолютной*.

В 1881 г. была принята система единиц физических величин СГС, основными единицами которой являлись: единица длины — сантиметр, единица массы — грамм, единица времени — секунда. Производными единицами системы считались единица силы — килограмм-сила и единица работы — эрг. Неудобство системы СГС состояло в трудностях пересчета многих единиц в другие системы для определения их соотношения.

¹ В XVIII в. понятия «вес» и «масса» не различались и выражали одну и ту же величину.

В начале XX в. итальянский ученый Дж. Джорджи предложил еще одну систему единиц, получившую название МКСА, которая довольно широко распространилась в мире. Основные единицы этой системы: метр, килограмм, секунда, ампер (единица силы электрического тока), а производные: единица силы — ньютон, единица энергии — джоуль, единица мощности — ватт.

Ученые предлагали и другие системы единиц физических величин для создания единой международной системы измерений. Однако в настоящее время некоторые страны мира продолжают проводить измерения на основе исторически сложившихся у них единиц измерения, например в Великобритании, США и Канаде основной единицей массы считают фунт, причем его размер в системе «британских имперских мер» и «старых винчестерских мер» различен. В мировой практике наиболее широко распространена Международная система единиц (СИ).

1.2. Международная система единиц физических величин

В 1954 г. на Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ) были определены шесть основных единиц физических величин для их использования в международных отношениях: метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина и свеча. В 1960 г. на этой конференции была утверждена Международная система единиц — SI. Аббревиатура системы составлена из начальных букв французского названия «Système International d'Unités» — Система интернациональная (СИ). В последующие годы на заседаниях ГКМВ были приняты дополнения и изменения, в результате чего в систему стали входить семь основных единиц, две дополнительных и ряд производных единиц физических величин, а также были разработаны следующие определения основных единиц:

единица длины — *метр* — длина пути, который проходит свет в вакууме за $1/299\,792\,458$ долю секунды;

единица массы — *килограмм* — масса, равная массе международного прототипа килограмма;

единица времени — *секунда* — время, равное $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей;

единица силы электрического тока — *ампер* — сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, создал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н;

единица термодинамической температуры — *кельвин* — термодинамическая температура, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды. Кроме термодинамической температуры допускается применение температуры Цельсия (единица — градус Цельсия);

единица количества вещества — *моль* — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг;

единица силы света — *кандела* — сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/см².

Приведенные определения — сложные, они требуют определенного уровня знаний, прежде всего в физике. Однако они дают представление о природном, естественном происхождении принятых единиц.

Международная система единиц считается наиболее совершенной и универсальной по сравнению с предшествовавшими ей системами. Кроме основных в ней есть дополнительные единицы для измерения плоского и телесного углов — радиан истерадиан соответственно, а также большое число производных единиц пространства и времени, механических, электрических, магнитных, тепловых, световых и акустических величин, а также производных единиц в области ионизирующих излучений.

Практически все крупнейшие международные организации включили Международную систему единиц в свои рекомендации по метрологии и призвали все страны — члены этих организаций — ее принять. В России СИ была официально принята путем введения в 1963 г. соответствующего государственного стандарта.

Сегодня система СИ действительно стала международной, но вместе с единицами этой системы применяются и внесистемные единицы, например тонна, сутки, литр, гектар и др.

1.3. Основные понятия об измерениях

Рассмотрим общепринятые в метрологии определения, которые соответствуют понятиям «измерения», «средства», «принципы», «методы» и «объекты измерений», «алгоритмы измерений» и «шкалы измерений» и др.

Согласно основному стандарту метрологии ГСИ ГОСТ 16263—70 *измерениями* называется процесс нахождения значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Получаемая при этом информация называется *измерительной*.

Определенная информация об объекте измерения должна быть известна до проведения исследований, что является важным фактором, обуславливающим эффективность измерения. Такую информацию об объекте измерения называют *априорной*. При полном отсутствии этой информации измерение невозможно, так как неизвестно, что же необходимо измерить, а следовательно, нельзя выбрать нужные методы и средства измерений.

Информация, получаемая в результате измерения, может содержаться в объекте измерения в двух формах: пассивной и активной. *Пассивная* информация представляет собой совокупность сведений, характеризующих объект. К такой информации, например, относится информация о величине напряжения источника питания. Информация является *активной*, если она имеет форму энергетической характеристики какого-либо явления. Подобные энергетические явления называются *сигналами*. Их примерами являются электрические, оптические и акустические сигналы, используемые для передачи информации.

При определении значения интересующей физической величины результат измерения может быть представлен в виде аналитического соотношения, известного как основное уравнение метрологии:

$$A = kA_0,$$

где A — значение измеряемой физической величины; k — отношение измеряемой величины к образцу; A_0 — значение величины, принятой за образец.

Принцип измерений представляет собой совокупность физических принципов, на которых основаны измерения, например применение эффекта Холла для измерения мощности или эффекта Джозефсона для измерения электрического напряжения.

Метод измерений — это совокупность использования принципов и средств измерений. Это общее определение на практике часто конкретизируют, относя его только к применяемым средствам измерений, например метод измерения частоты частотомером, напряжения — вольтметром, силы тока — амперметром и т. д.

Метод измерений следует отличать от *методики измерений*, которая представляет собой общий или поэтапный план проведения измерений, т. е. намеченного распорядка измерений, определяющего состав применяемых приборов, последовательность и правила проведения операций.

Объект измерений — это реальный физический объект, свойства которого характеризуются одной или несколькими измеряемыми физическими величинами.

В технической литературе и нормативной документации часто встречается термин «алгоритм измерений», под которым следует понимать точное предписание о перечне и порядке выполнения

операций, обеспечивающих измерение искомого значения физической величины.

Достоверность измерений определяется степенью доверия к результату измерения и характеризуется вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины находится в указанных пределах. Данную вероятность называют *доверительной*.

Правильность измерений — это метрологическая характеристика, отражающая близость к нулю систематических погрешностей результатов измерений.

Сходимость результата измерений определяет качество измерений и отражает близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполняемых повторно одними и теми же методами и средствами измерений в одних и тех же условиях.

Воспроизводимость результатов измерений характеризует качество измерений и отражает близкие результаты измерений одной и той же величины, полученные в разных местах, разными методами и средствами измерений, разными операторами, но приведенные к одним и тем же условиям.

Измерения как экспериментальные процедуры определения значений измеряемых величин весьма разнообразны. Это объясняется множеством измеряемых величин, характером их изменения во времени, разными требованиями к точности измерений и т. д. Измерения классифицируют по определенным признакам. Одним из таких признаков является способ получения результата измерения. Измерения подразделяют на прямые и косвенные.

Прямым называется измерение, когда искомое значение физической величины находится непосредственно из опытных данных. Часто под прямыми понимаются такие измерения, при которых не производится промежуточных преобразований. Это, например, измерение напряжения и силы тока такими электроизмерительными приборами, как вольтметр и амперметр. Прямые измерения очень распространены в практике измерений. Математически их можно охарактеризовать элементарной формулой

$$A = x,$$

где A — измеряемая величина; x — значение величины, найденное путем ее измерения и называемое результатом измерения.

Косвенным называется измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Косвенные измерения можно охарактеризовать формулой

$$A = f(x_1, x_2, \dots, x_m),$$

где x_1, x_2, \dots, x_m — результаты прямых измерений величин, связанных известной функциональной зависимостью с искомым значением измеряемой величины A .

Косвенные измерения также характерны для практики измерений, например измерение мощности методом амперметра-вольтметра, определение резонансной частоты колебательного контура по результатам прямых измерений емкости и индуктивности контура и т.д.

1.4. Виды средств измерений

На практике при измерении единицы величины применяются технические средства, которые имеют нормированные погрешности и называются *средствами измерений*. К ним относятся:

- меры;
- измерительные преобразователи;
- измерительные приборы;
- измерительные установки и системы;
- измерительные принадлежности.

Мерой называют средство измерений, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера. К данному виду средств измерений относятся гири, концевые меры длины и т.п. На практике используют однозначные и многозначные меры, а также наборы и магазины мер. Однозначные меры воспроизводят величины только одного размера (гиря), а многозначные — несколько размеров физической величины. Например, миллиметровая линейка выражает длину предмета в сантиметрах и миллиметрах.

Наборы и магазины представляют собой объединения (сочетания) однозначных или многозначных мер для получения возможности воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных значений величины. Набор мер составляет комплект однородных мер разного размера, которые применяются в нужных сочетаниях, например набор лабораторных гирь. Магазин мер — сочетание мер, объединенных конструктивно в одно механическое целое, в котором предусмотрена возможность посредством ручных или автоматизированных переключателей, связанных с отсчетным устройством, соединять составляющие магазин меры в нужном сочетании. По такому принципу устроены магазины электрических сопротивлений.

При пользовании мерами следует учитывать номинальное и действительное значения мер, а также погрешность меры и ее разряд. Номинальным называют значение меры, указанное на ней. Действительное значение меры должно быть зафиксировано в специальном свидетельстве в качестве результата высокоточного измерения с использованием официального эталона. Разность между номинальным и действительным значениями называется погрешностью меры.

Измерительный преобразователь — это средство измерений, которое служит для преобразования сигнала измерительной информации в форму, удобную для обработки или хранения, а также передачи в показывающее устройство. Измерительные преобразователи либо входят в конструктивную схему измерительного прибора, либо применяются совместно с ним, но сигнал преобразователя не поддается непосредственному восприятию наблюдателем. Например, преобразователь может быть необходим для передачи информации в память компьютера, для усиления напряжения и т.д. Преобразуемую величину называют входной величиной, а результат преобразования — выходной. Основной метрологической характеристикой измерительного преобразователя считается соотношение между входной и выходной величинами, называемое функцией преобразования.

Преобразователи подразделяют на первичные, непосредственно воспринимающие измеряемую величину; передающие, на выходе которых величина приобретает форму, удобную для регистрации или передачи на расстояние; промежуточные, работающие в сочетании с первичными и не влияющие на изменение рода физической величины.

Измерительные приборы (ИП) — это средства измерений, которые позволяют получать измерительную информацию в форме, удобной для восприятия пользователем. Различают измерительные приборы прямого действия и приборы сравнения. *Приборы прямого действия* отображают измеряемую величину на показывающем устройстве, имеющем соответствующую градуировку в единицах этой величины. Изменения рода физической величины при этом не происходит. К приборам прямого действия относятся, например, амперметры, вольтметры, термометры и т.п. *Приборы сравнения* предназначены для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны. Эти приборы широко используются в научных целях и на практике для измерения таких величин, как яркость источников излучения, давление сжатого воздуха и др.

Измерительные установки и системы — это совокупность средств измерений, объединенных по функциональному признаку со вспомогательными устройствами, для измерения одной или нескольких физических величин объекта измерений. Обычно такие системы автоматизированы и обеспечивают ввод информации в систему автоматизации самого процесса измерения, обработку и отображение результатов измерений для восприятия их пользователем. Эти установки (системы) используются и для контроля (например, производственных процессов), что особенно актуально для метода статистического контроля.

Измерительные принадлежности — это вспомогательные средства измерений величин. Они необходимы для вычисления попра-

вок к результатам измерений, если требуется высокая степень точности. Например, термометр может быть вспомогательным средством, если показания прибора достоверны при строго регламентированной температуре; психрометр — когда строго оговаривается влажность окружающей среды.

Измерительные принадлежности вносят определенные погрешности в результат измерений, связанные с погрешностью самого вспомогательного средства.

По метрологическому назначению средства измерений подразделяют на рабочие и эталонные. Рабочие средства измерений применяют для определения параметров (характеристик) технических устройств, технологических процессов, окружающей среды и др. Они могут быть лабораторными (для научных исследований), производственными (для обеспечения и контроля заданных характеристик технологических процессов), полевыми (для самолетов, автомобилей, судов и т. п.). Каждый из этих видов рабочих средств отличается особыми показателями. Так, лабораторные средства измерений должны быть самыми точными и чувствительными, а их показания — характеризоваться высокой стабильностью. Производственные средства обладают устойчивостью к воздействиям температуры, влажности, вибрации и другим факторам производственного процесса, которые могут оказать влияние на достоверность и точность показаний приборов. Полевые средства работают в условиях, которые постоянно изменяются в широких пределах внешних воздействий. Особым средством измерений является эталон.

1.5. Эталоны единиц физических величин

Эталон — это средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы физической величины и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке. Классификацию, назначение и общие требования к созданию, хранению и применению эталонов устанавливает ГОСТ 8.057—80 «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения».

Конструкция эталона, его физические свойства и способ воспроизведения единицы определяются физической величиной, единица которой воспроизводится, и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений. Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя взаимосвязанными свойствами: неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

Неизменность — это свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного ин-

тервала времени. При этом все изменения, зависящие от внешних условий, должны быть строго определенными функциями величин, доступных точному измерению. Реализация этих требований привела к идее создания «естественных» эталонов различных величин, основанных на физических постоянных.

Воспроизводимость — это возможность воспроизведения единицы физической величины на основе ее теоретического определения с наименьшей погрешностью для существующего уровня развития измерительной техники. Это достигается путем постоянного исследования эталона в целях определения систематических погрешностей и их исключения путем введения соответствующих поправок.

Сличаемость — это возможность обеспечения сличения с эталоном других систем, нижестоящих по поверочной схеме, в первую очередь вторичных эталонов, с наивысшей точностью для существующего уровня развития техники измерений. Это свойство предполагает, что эталоны по своему устройству и действию не вносят каких-либо искажений в результаты сличений и сами не претерпевают изменений при проведении сличений.

Различают следующие виды эталонов (рис. 1.1):

первичный — гарантирует воспроизведение и хранение единицы с наивысшей в стране точностью (по сравнению с другими эталонами той же величины). Первичные эталоны являются уникальными СИ. Они часто представляют собой сложнейшие измерительные комплексы, созданные с учетом новейших достижений науки и техники, и составляют основу государственной системы обеспечения единства измерений;

специальный — обеспечивает воспроизведение единицы в особых условиях, в которых прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью не осуществима, и служит для этих условий первичным эталоном;

государственный — первичный или специальный эталон, официально утвержденный в качестве исходного эталона для страны.

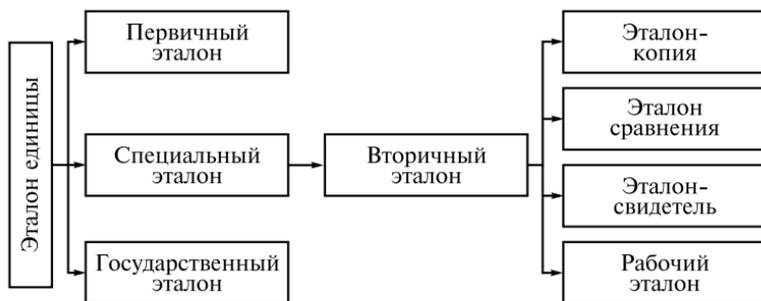


Рис. 1.1. Классификация эталонов

Утверждение проводит главный метрологический орган страны. Государственные эталоны создаются, хранятся и применяются центральными метрологическими научными институтами страны. Точность воспроизведения единицы физической величины должна соответствовать уровню лучших мировых достижений и удовлетворять потребностям науки и техники. В состав государственных эталонов включаются средства измерений, с помощью которых воспроизводят и (или) хранят единицу физической величины, контролируют условия измерений и неизменность воспроизводимого или хранимого размера единицы, осуществляют передачу размера единицы. Государственные эталоны подлежат периодическим сличениям с государственными эталонами других стран;

вторичный — хранит размер единицы, полученной путем сличения с первичным эталоном соответствующей физической величины. Такие эталоны являются частью подчиненных средств хранения единиц и передачи их размеров, создаются и утверждаются в тех случаях, когда это необходимо для организации поверочных работ, а также для обеспечения сохранности и наименьшего износа государственного эталона. В состав вторичных эталонов включаются СИ, с помощью которых хранят единицу физической величины, контролируют условия хранения и передают размер единицы.

По метрологическому назначению вторичные эталоны подразделяются на следующие виды:

эталон-копия — предназначен для передачи размера единицы рабочим эталонам. Он создается в случае необходимости проведения большого числа поверочных работ в целях предохранения первичного или специального эталона от преждевременного износа. Эталон-копия представляет собой копию государственного эталона только по метрологическому назначению, поэтому он не всегда является его физической копией;

эталон сравнения — применяется для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом;

эталон-свидетель — используется для проверки сохранности и неизменности государственного эталона и замены его в случае порчи или утраты. В настоящее время только эталон килограмма имеет эталон-свидетель. Его основное назначение — обеспечивать возможность контроля постоянства основного эталона;

рабочий эталон — применяется для передачи размера единицы рабочим средствам измерений. Это самые распространенные эталоны. В целях повышения точности измерений физических величин рабочие эталоны применяются во многих территориальных метрологических органах и лабораториях министерств и ведомств.