

1. МЕТРОЛОГИЯ

1.1. МЕТРОЛОГИЯ – НАУКА ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ

Измерения являются одним из важнейших путей развития научно-технического прогресса, познания природы и общества человеком. В практической деятельности мы постоянно имеем дело с измерениями, имеющими первостепенное значение во всех сферах производства и потребления, при оценке качества товаров, внедрении новых технологий и управлении ими.

Наука, изучающая измерения, называется метрологией. Слово "метрология" образовано из двух греческих слов: "метрон" – мера и "логос" – учение. Дословный перевод слова "метрология" – учение о мерах. Долгое время метрология оставалась в основном описательной (эмпирической) наукой о различных мерах и соотношениях между ними. Существенное развитие метрология получила в XX в. благодаря развитию математических и физических наук.

Метрология в её современном понимании – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности [1]. Метрология состоит из трёх самостоятельных и взаимодополняющих разделов – теоретического, прикладного и законодательного.

Теоретическая метрология занимается общими фундаментальными вопросами теории измерений, разработкой новых методов измерений, созданием систем единиц измерений и физических постоянных.

Законодательная метрология устанавливает обязательные технические и юридические требования по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленные на обеспечение единства и точности измерений в интересах общества.

Прикладная метрология изучает вопросы практического применения результатов разработок теоретической и законодательной метрологии в различных сферах деятельности.

Предметом метрологии является получение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью.

Средства метрологии – это совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное использование.

Во всех случаях проведения измерений, независимо от измеряемой величины, метода и средства измерений, есть общее, что составляет основу измерений, – это сравнение опытным путём данной величины с другой, подобной ей, принятой за единицу. При всяком измерении мы с помощью эксперимента оцениваем физическую величину в виде некоторого числа принятых для неё единиц, т.е. находим её значение.

В настоящее время установлены следующие определения измерения:

- измерение – совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины[2];

- измерение – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с её единицей и получение значения этой величины [1].

Основные задачи метрологии [1]:

1. Установление единиц физических величин, государственных эталонов и образцовых средств измерений.

2. Разработка теории, методов и средств измерений и контроля.

3. Обеспечение единства измерений.

4. Разработка методов оценки погрешностей, состояния средств измерения и контроля.

5. Разработка методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых

Одна из главных задач метрологии – обеспечение единства измерений.

Единство измерений – состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Единство измерений может быть обеспечено при соблюдении двух условий, которые можно назвать основополагающими:

- выражение результатов измерений в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин;
- установление допустимых ошибок (погрешностей) результатов измерений и пределов, за которые они не должны выходить.

Погрешностью называют отклонение результата измерений от действительного (истинного) значения измеряемой величины.

Следует иметь в виду, что истинное значение физической величины считается неизвестным и применяется в теоретических исследованиях; действительное значение физической величины устанавливается экспериментально в предположении, что результат измерения максимально приближается к истинному значению.

Точность измерений – одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

1.2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕТРОЛОГИИ

1.2.1. Физические величины, единица физической величины,

система единиц физических величин

Все объекты окружающего мира характеризуются своими свойствами.

Свойство – философская категория, выражающая такую сторону объекта (явления, процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношениях к ним.

Свойство – это качественная категория. Для количественного описания различных свойств процессов и физических тел вводится понятие величины. Величина – это свойство чего-либо, что может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно. Величина не существует сама по себе, она имеет место лишь постольку, поскольку существует объект со свойствами, выраженными данной величиной [11].

Величины можно разделить на два вида: реальные и идеальные.

Идеальные величины в основном относятся к математике и являются обобщением (моделью) конкретных реальных понятий.

Реальные величины делятся, в свою очередь, на физические и нефизические.

К нефизическим относятся величины, присущие общественным (нефизическим) наукам – философии, социологии, экономике и т.д. Нефизические величины, для которых единица измерения в принципе не может быть введена, могут быть только оценены. Но оценивание нефизических величин не входит в задачи теоретической метрологии [5].

Физическая величина – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Например, свойство "прочность" в качественном отношении характеризует такие материалы, как металл, дерево, стекло и т.д.; в то время как степень (количественное значение) прочности – величина для каждого из них разная.

Единица физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин.

В 1960 г. XI Международная конференция по мерам и весам приняла Международную систему единиц физических величин, получившую у нас в стране сокращённое название СИ (от начальных букв System Internationale d'Unites – Международная система единиц). В нашей стране Международная система мер является обязательной с 1 января 1980 г.

Физические величины принято делить на основные и производные.

Основные физические величины не зависимы друг от друга, но они могут служить основой для установления связей с другими физическими величинами, которые называют производными от них. Например, в формуле Эйнштейна $E = mc^2$ (m – масса, c – скорость света) масса – основная единица, которая может быть измерена взвешиванием; энергия (E) – производная единица. Основным величинам соответствуют основные единицы измерений, а производным – производные единицы измерений.

Таким образом, система единиц физических величин (система единиц) – совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами, положенными в основу данной системы физических величин.

Первой системой единиц считается метрическая система.

1.2.2. Основные, дополнительные и производные единицы системы СИ

Основные единицы Международной системы единиц были выбраны в 1954 г. X Генеральной конференцией по мерам и весам.

При этом исходили из того, чтобы:

- 1) охватить системой все области науки и техники;
- 2) создать основу образования производных единиц для различных физических величин;
- 3) принять удобные для практики размеры основных единиц, уже получившие широкое распространение;
- 4) выбрать единицы таких величин, воспроизведение которых с помощью эталонов возможно с наибольшей точностью.

Международная система единиц включает в себя две дополнительные единицы – для измерения плоского и телесного углов.

Основные и дополнительные единицы СИ приведены в табл. 1.1.

Величина	Единица измерения	Сокращённое обозначение единицы	
		Русское	Международное
Основные			
Длина	метр	м	m
Масса	килограмм	кг	kg
Время	секунда	с	s
Сила электрического тока	ампер	А	A
Термодинамическая температура	кельвин	К	K
Сила света	кандела	кд	cd
Количество вещества	моль	моль	mol
Дополнительные			
Плоский угол	радиан	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	ср	sr

Метр – длина пути, которую проходит свет в вакууме за $1 / 299\,792\,458$ долю секунды.

Килограмм – масса, равная массе международного прототипа килограмма (платиновая цилиндрическая гиря, высота и диаметр которой равны по 39 мм).

Секунда – продолжительность $9\,192\,631\,770$ периодов излучения, соответствующего переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей.

Ампер – сила не изменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, создал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.

Кельвин – $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

Моль – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в нуклиде углерода-12 массой 0,012 кг.

Кандела – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц.

Производные единицы Международной системы единиц образуются с помощью простейших уравнений между величинами, в которых числовые коэффициенты равны единице.

Например, для линейной скорости в качестве определяющего уравнения можно воспользоваться выражением для скорости равномерного прямолинейного движения $v = l / t$. Тогда при длине пройденного пути l (в метрах) и времени t (в секундах) скорость выражается в метрах в секунду (м/с). Поэтому единица скорости СИ – метр в секунду – это скорость прямолинейно и равномерно движущейся точки, при которой она за время 1 с перемещается на расстояние 1 м.

Кратные и дольные единицы СИ

Различают кратные и дольные единицы физической величины [9].

Кратная единица – единица физической величины, в целое число раз большая системной или несистемной единицы.

Дольная единица – единица физической величины, в целое число раз меньшая системной или несистемной единицы.

Наиболее прогрессивным способом образования кратных и дольных единиц является принятая в метрической системе мер десятичная кратность между большими и меньшими единицами. В соответствии с резолюцией XI Генеральной конференции по мерам и весам десятичные кратные и дольные единицы от единиц СИ образуются путём присоединения приставок.

1.2. Множители и приставки для образования кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		Русское	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

1.3. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Измерение физических величин заключается в сопоставлении какой-либо величины с однородной величиной, принятой за единицу.

В метрологии используется термин "*измерение*", под которым понимается совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с её единицей и получение значения этой величины.

Следует отметить, что термин "измерение" в таком понятии значительно сокращает область его применения, так как широко применяются измерения (органолептические), основанные на использовании органов чувств человека (например, оценка спортивных выступлений в фигурном катании, гимнастике).

Другими словами, термин "измерение" не ограничен нахождением значения физической величины, так как часто измеряют и нефизические величины.

1.3.1. Области и виды измерений

Область измерений – совокупность измерений физических величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой.

Вид измерений – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.

В метрологии различают следующие области и виды измерений:

1. Измерение геометрических величин: длин, углов, отклонений формы поверхностей.
2. Измерение механических величин: массы, силы, прочности и пластичности, крутящих моментов.
3. Измерение параметров потока, расхода, уровня, объёма веществ.
4. Измерение давления: избыточного, атмосферного, абсолютного, вакуума.
5. Физико-химические измерения: вязкости, плотности, концентрации, влажности.
6. Теплофизические и температурные измерения.
7. Измерение времени и частоты.
8. Измерения электрических и магнитных величин на постоянном и переменном токе: силы тока, ЭДС, напряжения, мощности, сопротивления, ёмкости, индуктивности.
9. Радиоэлектронные измерения: интенсивности сигналов, параметров формы и спектра сигналов.
10. Измерения акустических величин в различных средах (воздушной, твёрдой, жидкой).
11. Оптические и оптико-физические измерения: оптической плотности, коэффициента пропускания.
12. Измерения ионизирующих излучений и ядерных констант: дозиметрических и спектральных характеристик ионизирующих излучений.

1.3.2. Классификация

измерений

Измерения могут быть классифицированы по ряду признаков: по способу получения информации, по характеру изменений измеряемой величины в процессе измерений, по количеству измерительной информации, по отношению к основным единицам.

1. По способу получения информации измерения разделяют на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямые измерения – измерения, при которых искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных (измерения массы на весах, температуры термометром, длины с помощью линейных мер).

Косвенные измерения – измерения, при которых искомое значение находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными прямыми измерениями (определение плотности однородного тела по его массе и объёму, удельного электрического сопротивления проводника по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения).

Совокупные измерения – измерения нескольких однородных величин, при которых искомое значение величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин (измерения, при которых масса отдельных гирь набора находится по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь).

Совместные измерения – одновременные измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними (проводимые одновременно измерения приращения длины образца в зависимости от изменений его температуры и определение коэффициента линейного расширения по формуле $k = \Delta l / (l \Delta t)$).

В результате измерения должны быть определены 3 величины [9]:

1) Число, выражающее отношение измеряемой физической величины к общепринятой единице измерения

$$A = X / x ,$$

где A – числовое значение измеряемой величины; X – измеряемая величина; x – единица измерения.

2) Погрешность результата измерения.

3) Доверительная вероятность допущенной погрешности (при обычных технических измерениях погрешность определяется с вероятностью 95%).

2. По характеру изменения измеряемой величины в процессе измерений бывают *статистические, динамические и статические измерения*.

Статистические измерения связаны с определением характеристик случайных процессов, звуковых сигналов, уровня шумов и т.д.

Статические измерения имеют место тогда, когда измеряемая величина практически постоянна.

Динамические измерения связаны с такими величинами, которые в процессе измерений претерпевают те или иные изменения.

Статические и динамические измерения в идеальном виде на практике редки.

3. По количеству измерительной информации различают *однократные и многократные измерения*.

Однократные измерения – это одно измерение одной величины, т.е. число измерений равно числу измеряемых величин.

Практическое применение такого вида измерений всегда приводит к большим погрешностям, поэтому следует проводить не менее трёх однократных измерений и находить конечный результат как среднее арифметическое значение.

Многократные измерения характеризуются превышением числа измерений количества измеряемых величин.

Обычно минимальное число измерений больше трёх. Преимущество многократных измерений – в значительном снижении влияния случайных факторов на погрешность измерения.

1.3.3. Шкалы измерений

Шкала физической величины – это упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая исходной основой для измерений данной величины.

Различают следующие типы шкал измерений:

– **Шкалы наименований** характеризуются оценкой (отношением) эквивалентности различных качественных проявлений свойства. Эти шкалы не имеют нуля и единицы измерений, в них отсутствуют отношения сопоставления типа "больше-меньше". Это самый простой тип шкал. Пример: шкалы цветов, представляемые в виде атласов цветов. При этом процесс измерений заключается в достижении (например, при визуальном наблюдении) эквивалентности испытуемого образца с одним из эталонных образцов, входящих в атлас цветов.

– **Шкалы порядка** описывают свойства величин, упорядоченные по возрастанию или убыванию оцениваемого свойства, т.е. позволяют установить отношение больше/меньше между величинами, характеризующими это свойство. В этих шкалах отсутствует единица измерения, так как невозможно установить, в какое число раз больше или меньше проявляется свойство величины. Пример: шкалы измерения твёрдости, баллов силы ветра, землетрясений.

– **Шкалы интервалов** (разностей) описывают свойства величин не только с помощью отношений эквивалентности и порядка, но также и с применением отношений суммирования и пропорциональности интервалов (разностей) между количественными проявлениями свойства. Эти шкалы могут иметь условную нулевую точку. Пример: летоисчисление по различным календарям, температурные шкалы (Цельсия, Фаренгейта, Реомюра).

– **Шкалы отношений** описывают свойства величин, для множества количественных проявлений которых применимы логические отношения эквивалентности, порядка и пропорциональности, а для некоторых шкал также отношение суммирования. В шкалах отношений существует естественный нуль и по согласованию устанавливается единица измерения.

Пример: шкала массы, шкала термодинамической температуры Кельвина

– **Абсолютные шкалы** кроме всех признаков шкал отношений обладают дополнительным признаком: в них присутствует однозначное определение единицы измерения. Такие шкалы присущи таким относительным единицам, как коэффициенты усиления, ослабления, полезного действия и т.д.

– **Условные шкалы** – шкалы величин, в которых не определена единица измерения. К ним относятся шкалы наименований и порядка.

1.3.4. Характеристики качества измерений

Качество измерений характеризуется точностью, достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью, а также размером допускаемых погрешностей.

Точность измерений – характеристика качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

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

Правильность измерений – характеристика измерений, отражающая близость к нулю систематических погрешностей результатов измерений.

Сходимость результата измерений – характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполняемых повторно одними и теми же методами и средствами измерений и в одних и тех же условиях. Сходимость отражает влияние случайных погрешностей на результат измерения.

Воспроизводимость результатов измерений – характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами и средствами измерений, разными операторами, но приведённых к одним и тем же условиям.

1.4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Средства измерений представляют собой совокупность технических средств, используемых при различных измерениях и имеющих нормированные метрологические свойства, т.е. отвечающих требованиям метрологии в части единиц и точности измерений, надёжности и воспроизводимости получаемых результатов, а также требованиям к их размерам и конструкции.

Средство измерений – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

К средствам измерений относят: меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные установки, измерительные системы, измерительные принадлежности.

Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью (гиря – мера массы, точный кварцевый генератор – мера частоты электрических колебаний).

Меры бывают однозначные и многозначные. Однозначные меры (например, гиря, образцовая катушка сопротивлений) воспроизводят одно значение физической величины. Многозначные меры служат для воспроизведения ряда значений одной и той же физической величины. Примером многозначной меры является миллиметровая линейка, воспроизводящая наряду с миллиметровыми также и сантиметровые размеры длины.

Применяются также меры в виде наборов и магазинов мер. Набор мер представляет собой комплект однозначных мер разного размера, предназначенных для применения в различных сочетаниях (например, набор концевых мер длины).

Магазин мер – набор мер, конструктивно объединённых в единое устройство, в котором предусмотрено ручное или автоматизированное соединение мер в необходимых комбинациях (например, магазин электрических сопротивлений).

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне.

Различают приборы прямого действия и приборы сравнения.

Приборы прямого действия отображают измеряемую величину на показывающем устройстве, имеющем соответствующую градуировку в единицах этой величины. К таким приборам относятся, например, термометры, амперметры, вольтметры и т.п.

Приборы сравнения предназначены для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны.

Например, приборы для измерения яркости, давления сжатого воздуха и др. Эти приборы более точные.

По способу отчёта значений измеряемых величин приборы подразделяются на **показывающие** (в том числе аналоговые и цифровые) и **регистрирующие**. Регистрирующие приборы по способу записи делятся на самопишущие и печатающие. В самопишущих приборах запись показаний представляется в графическом виде, в печатающих – в числовой форме.

Измерительный преобразователь – техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Преобразуемую величину называют входной, а результат преобразования – выходной величиной. Основной метрологической характеристикой измерительного преобразователя считается соотношение между входной и выходной величинами, называемое функцией преобразования.

Измерительные преобразователи входят в состав измерительных приборов или применяются вместе с каким-либо средством измерений.

Самыми распространёнными являются первичные измерительные преобразователи (ПИП), которые служат для непосредственного восприятия измеряемой величины (как правило, неэлектрической) и преобразования её в другую величину – электрическую. ПИП, от которого поступают измерительные сигналы, конструктивно оформленный как обособленное средство измерений (без отсчётного устройства), называется датчиком.

Промежуточными измерительными преобразователями называются преобразователи, расположенные в измерительной цепи после ПИП и обычно по измеряемой (преобразуемой) физической величине однородные с ним.

По характеру преобразования измерительные преобразователи делятся на аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые (ЦАП). АЦП и ЦАП всегда являются промежуточными.

Измерительная установка – совокупность функционально объединённых мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких физических величин и расположенная в одном месте. Измерительную установку, применяемую для поверки, называют поверочной установкой.

Измерительную установку, входящую в состав эталона, называют эталонной установкой. Некоторые большие измерительные установки называют измерительными машинами.

Измерительная система – совокупность функционально объединённых мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещённых в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

В настоящее время большинство измерительных систем являются автоматизированными.

Несмотря на различные наименования (АИС – автоматизированная измерительная система, ИИС – информационно-измерительная система, ИВК – измерительно-вычислительный комплекс), все они обеспечивают автоматизацию процессов измерений, обработки и отображения результатов измерений.

Измерительные системы широко используются для автоматизации технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Измерительные принадлежности – это вспомогательные средства измерений величин. Они необходимы для вычисления поправок к результатам измерений, если требуется высокая степень точности.

Например, термометр может быть вспомогательным средством, если показания прибора достоверны только при строго регламентированной температуре;

психрометр – если строго регламентируется влажность окружающей среды.

1.5. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Принцип измерения – совокупность физических принципов, на которых основаны измерения.

Метод измерения – это приём или совокупность приёмов сравнения измеряемой физической величины с её единицей в соответствии с реализованным принципом измерения [1].

Метод измерения – совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности [2].

Метод измерения должен по возможности иметь минимальную погрешность.

Методы измерений классифицируют по следующим признакам.

1. В зависимости от измерительных средств, используемых в процессе измерения [10], различают методы:

инструментальный, экспертный, эвристический, органолептический.

Инструментальный метод основан на использовании специальных технических средств, в том числе автоматизированных и автоматических.

Экспертный метод основан на использовании данных нескольких специалистов. Широко применяется в спорте, искусстве, медицине.

Эвристический метод основан на интуиции. Широко используется способ попарного сопоставления, когда измеряемые величины сначала сравниваются между собой попарно, а затем производится ранжирование на основании результатов этого сравнения.

Органолептический метод основан на использовании органов чувств человека (осязание, обоняние, зрение, слух, вкус).

2. По способу получения значений измеряемой величины различают: метод непосредственной оценки и методы сравнения (дифференциальный, нулевой, замещения, совпадений).

Сущность метода непосредственной оценки состоит в том, что о значении измеряемой величины судят по показанию одного (прямые измерения) или нескольких (косвенные измерения) средств измерений, которые заранее проградуированы в единицах измеряемой величины. Это наиболее распространённый метод измерения. Его реализуют большинство средств измерений. Простейший пример – измерение напряжения вольтметром.

К методам сравнения относятся все те методы, при которых измеряемая величина сравнивается с величиной, воспроизводимой мерой. Таким образом, отличительной особенностью этих методов является непосредственное участие мер в процессе измерения.

При **дифференциальном методе** измеряемая величина X сравнивается непосредственно или косвенно с величиной X_m , воспроизводимой мерой.

О значении величины X судят по измеряемой прибором разности $\Delta X = X - X_m$ и по известной величине X_m , воспроизводимой мерой. Следовательно, $X = X_m + \Delta X$. При этом методе производится неполное уравнивание измеряемой величины.

Пример метода – измерение массы весами с набором гирь.

Нулевой метод – разновидность дифференциального метода. Его отличие в том, что разность $\Delta X \rightarrow 0$, что контролируется специальным прибором высокой точности – нуль-индикатором. В данном случае значение измеряемой величины равно значению, воспроизводимому мерой. Погрешность метода очень мала.

Пример метода – взвешивание на весах, когда на одном плече находится взвешиваемый груз, а на другом – набор эталонных грузов. Или измерение сопротивления с помощью уравновешенного моста.

Метод замещения заключается в поочередном измерении прибором искомой величины и выходного сигнала меры, однородного с измеряемой величиной. По результатам этих измерений вычисляется искомая величина.

Пример метода – измерение большого электрического сопротивления путём поочередного измерения силы тока, протекающего через контролируемый и образцовый резисторы. Питание цепи осуществляется от одного и того же источника постоянного тока.

При **методе совпадений** разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой метой, определяют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов. Этот метод широко используется в практике неэлектрических измерений.

Пример – измерение длины при помощи штангенциркуля.

1.6. Воспроизведение единиц физических величин и передача их размеров

1.6.1. Понятие о единстве измерений

Под единством измерений понимается характеристика качества измерений, заключающаяся в том, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам воспроизведённых величин, а погрешности результатов измерений известны с заданной доверительной вероятностью и не выходят за установленные пределы. Понятие "единство измерений" довольно ёмкое. Оно охватывает важнейшие задачи метрологии: унификацию единиц физических величин, разработку систем воспроизведения величин и передачи их размеров рабочим средствам измерений с установленной точностью и ряд других вопросов. Единство должно обеспечиваться при любой точности, необходимой науке и технике.

Согласно Закону РФ "Об обеспечении единства измерений" единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в РФ единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

На достижение и поддержание на должном уровне единства измерений направлена деятельность государственных и ведомственных метрологических служб, проводимая в соответствии с установленными правилами, требованиями и нормами. На государственном уровне деятельность по обеспечению единства измерений регламентируется стандартами Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) или нормативными документами органов метрологической службы.

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все существующие средства измерений одной и той же величины. Это достигается путём точного воспроизведения и хранения в специализированных

1.6.2. Эталоны и рабочие средства измерений

Средства измерений (СИ) можно разделить на **эталоны** и **рабочие средства измерений**.

Рабочие средства измерений применяют для определения параметров (характеристик) технических устройств, технологических процессов, окружающей среды и т.д.

Воспроизведение, хранение и передача размеров единиц осуществляются с помощью первичных, вторичных и рабочих эталонов. Рабочие эталоны раньше назывались образцовыми средствами измерений. Высшим звеном в метрологической цепи передачи размеров единиц измерений являются эталоны.

Эталон – это высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы физической величины (ФВ) с целью передачи её размера другим средствам измерений.

От эталона единица величины передаётся разрядным эталонам, а от них – рабочим средствам измерений.

Эталон должен обладать тремя существенными признаками: неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью

Неизменность – свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимости единицы ФВ в течение длительного интервала времени.

Воспроизводимость – возможность воспроизведения единицы ФВ с наименьшей погрешностью для достигнутого уровня развития техники измерений.

Сличаемость – возможность обеспечения сличения с эталоном других средств измерений, нижестоящих по поверочной схеме, с наибольшей точностью для достигнутого уровня развития техники измерений.

В определение эталона входят понятия: воспроизведение, хранение, передача.

Воспроизведение единицы ФВ – совокупность операций по материализации единицы ФВ с помощью государственного первичного эталона. Различают воспроизведение основных и производных единиц.

Передача размера единиц – приведение размера единицы ФВ, хранимой поверяемым СИ, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при их поверке (калибровке). Размер единицы передается "сверху вниз".

Хранение единиц – совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени размера единицы, присущего данному СИ.

Различают следующие виды эталонов.

Первичный эталон – эталон, воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной в данной области измерений на современном уровне научно-технических достижений. Первичный эталон может быть национальным (государственным) и международным. Государственный первичный эталон – государственный эталон единицы ФВ, обеспечивающий воспроизведение, хранение и передачу единицы ФВ с наивысшей в РФ точностью, утверждаемый в этом качестве в установленном порядке и применяемый в качестве исходного на территории РФ

Международные первичные эталоны принимаются по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ними размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

Первичному эталону соподчинены вторичные и рабочие эталоны.

Вторичные эталоны получают размер единицы путём сличения с первичными эталонами рассматриваемой единицы.

Рабочие эталоны воспринимают размер единицы от вторичных эталонов и, в свою очередь, служат для передачи размера менее точному рабочему эталону и рабочим средствам измерений. Рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й, 3-й, ...).

Эталон сравнения – эталоны, применяемые для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

Эталон в обычных измерениях не используются.

1.6.3. Поверочные схемы

Обеспечение правильной передачи размера единиц физических величин (и, как следствие, обеспечение единства измерений) во всех звеньях метрологической цепи осуществляется посредством поверочных схем (ПС).

Поверочная схема – это нормативный документ, который устанавливает соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона к рабочим средствам измерений (с указанием методов и погрешности при передаче). Различают государственные и локальные поверочные схемы.

Государственная ПС распространяется на все СИ данной ФВ, имеющихся в России. Локальная ПС распространяется на СИ данной ФВ, применяемые в регионе, области, ведомстве или на отдельном предприятии.

Государственная поверочная схема передачи единиц измерения физических величин от эталонов к образцовым и рабочим средствам измерений представлена на рис. 1.1.

Рис. 1.1. Государственная схема передачи единиц измерения физических величин от эталонов к образцовым и рабочим средствам измерений



Согласно схеме на рис. 1.1, между разрядами рабочих эталонов существует соподчинённость: рабочие эталоны 1 разряда поверяются, как правило, непосредственно по вторичным эталонам, рабочие эталоны 2-го и последующего разрядов подлежат поверке по рабочим эталонам непосредственно предшествующих разрядов.

Как видно из данной схемы, рабочие средства измерений высшей точности могут поверяться по рабочим эталонам 1 разряда; рабочие средства измерений высокой точности – по рабочим эталонам 2 разряда; средней точности – по рабочим эталонам 3 разряда; нормальной точности – по рабочим эталонам 4 разряда; технические средства измерений – по рабочим эталонам 5 разряда.

Иногда при ответе на вопрос, чем отличаются рабочие эталоны от рабочих средств измерений, можно услышать от студента, что рабочие средства измерений обладают меньшей точностью по сравнению с рабочими эталонами. Данное утверждение неверно, так как главное отличие рабочих эталонов от рабочих средств измерений заключается в том, что рабочие эталоны используются для передачи размера единиц измерений (т.е. для поверки или калибровки приборов), а рабочие средства измерений используются непосредственно в обычных измерениях. Что же касается соотношения точности этих средств измерений, то из рис. 1.1 видно, что рабочие средства измерений высшей точности и рабочие эталоны второго разряда обладают примерно одинаковой точностью, а рабочие средства измерений высокой точности обладают большей точностью, чем, например, рабочие эталоны пятого или четвёртого разрядов.

При передаче единиц измерений следует строго придерживаться связей, указанных на рис. 1.1, в противном случае последствия могут быть очень

1.7. ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Статической характеристикой прибора (см. рис. 1.2) называется зависимость выходной величины y от входной величины x в установившемся режиме работы (т.е. когда x и y не меняются во времени: $x = \text{const}$, $y = \text{const}$), выраженная таблично, графически или аналитически.



Рис. 1.2. Условное изображение прибора

Статическую характеристику получают следующим образом (см. рис. 1.3, табл. 1.3):

- 1) подают на вход прибора постоянное значение входного сигнала $x = x_0 = \text{const}$;
- 2) дожидаются установившегося режима работы прибора, когда его выходной сигнал y станет постоянным, т.е. когда $x = \text{const}$, $y = \text{const}$;
- 3) измеряют значение входного сигнала $x = x_0$ и выходного сигнала $y = y_0$, а результаты измерения записывают в таблицу (см. табл. 1.3);
- 4) повторяют необходимое количество раз пункты 1 – 3, подавая на вход различные значения входного сигнала $x = x_i = \text{const}$, $i = 1, n$.

В результате получают таблицу значений x и y (табличное выражение статической характеристики прибора). Используя данные таблицы, строят статическую характеристику в виде графической зависимости $y = f(x)$ (графическое выражение статической характеристики прибора). Функция $f(x)$ представляет собой аналитическое выражение статической характеристики.

Для приборов наилучшей является линейная статическая характеристика $y = k_x + a$, где a – постоянная, k – передаточный коэффициент, причём среди линейных статических характеристик более предпочтительны характеристики, для которых $a = 0$, т.е. $y = k_x$.

Самой желательной статической характеристикой прибора является $y = x$, получаемая при коэффициенте передачи $k = 1$. В этом случае искомое значение физической величины отсчитывают непосредственно по шкале прибора.

x	y
x₀	y₀
x₁	y₁
x₂	y₂
x₃	y₃
...	...
x_n	y_n

1.3. Статическая характеристика прибора в табличной форме

Чувствительность S прибора представляет собой предел отношения приращения выходного сигнала к приращению входного сигнала, т.е.

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta y}{\Delta x} \right| = \frac{dy}{dx} = \frac{df(x)}{dx} = f'(x)$$

Чувствительность прибора численно равна тангенсу угла наклона касательной к графику, представляющему статическую характеристику, т.е. $S = \operatorname{tga}$ (рис. 1.4). В случае линейной статической характеристики чувствительность прибора постоянна и численно равна передаточному коэффициенту k :

$$S = \frac{d(kx + a)}{dx} = k = \operatorname{const}$$

Чувствительность является мерой, при помощи которой сравнивают приборы для измерения одинаковых физических величин (чем выше чувствительность, тем прибор лучше).

Порог чувствительности прибора Δx – это минимальное изменение входного сигнала, которое может быть зарегистрировано (обнаружено, замечено) с помощью прибора без применения дополнительных технических средств.

Для приборов часто характерен гистерезис – магнитный, электрический, механический, когда значения выходного сигнала y при одних и тех же значениях входного сигнала x не совпадают при прямом и обратном ходе. В этом случае статическая характеристика прибора имеет вид так называемой *петли гистерезиса*

Гистерезис является причиной существования порога чувствительности прибора и, как следствие, возникновения вариации показаний прибора. Гистерезис понижает точность измерений, поэтому желательно свести его к минимуму.

Цена деления прибора C – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

Перегрузочная способность – способность прибора в определённое время выдерживать нагрузки, превышающие допустимые.

Быстродействие прибора B – время, затрачиваемое на одно измерение. Для аналоговых приборов – время установления показания, для цифровых – отношение числа измерений n к промежутку времени D_t , за которое эти измерения произведены;

$$B = \frac{n}{\Delta t}$$

Для цифровых приборов $B = 1 \dots 10^4$ изм./сек.

Время установления показаний (время успокоения) – время, за которое амплитуда колебания подвижной части прибора станет меньше абсолютной погрешности прибора.

Надёжность – способность прибора сохранять эксплуатационные параметры в течение заданного времени.

1.8. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

1.8.1. Классификация погрешностей

Качество средств и результатов измерений принято характеризовать, указывая их погрешности. Введение понятия "погрешность" требует определения и чёткого разграничения трёх понятий: истинного и действительного значений измеряемой физической величины и результата измерения.

Истинное значение физической величины – это значение, идеальным образом отражающее свойство данного объекта как в количественном, так и в качественном отношении. Оно не зависит от средств нашего познания и является той абсолютной истиной, к которой мы стремимся, пытаясь выразить её в виде числовых значений. На практике истинное значение практически всегда неизвестно (в редких случаях оно может быть определено с применением первичных или вторичных эталонов), поэтому его приходится заменять понятием "действительное значение".

Действительное значение физической величины – значение, найденное экспериментально и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели оно может быть использовано вместо него. Действительное значение может быть получено при помощи рабочих эталонов.

Результат измерения (измеренное значение) представляет собой приближённую оценку истинного значения величины, найденную путём измерения (результат, полученный с помощью рабочего средства измерения).

Понятие "погрешность" – одно из центральных в метрологии, где используются понятия "погрешность результата измерения" и "погрешность средства измерения".

Погрешность результата измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность средства измерения – отклонение показания средства измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины. Оно характеризует точность результатов измерений, проводимых данным средством.

Эти два понятия во многом близки друг к другу и классифицируются по одинаковым

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины и равна разности между измеренным и истинным значениями

Относительная погрешность представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (действительному, измеренному) значению и часто выражается в процентах.

Приведённая погрешность представляет собой отношение абсолютной погрешности средства измерения к так называемому нормирующему значению (постоянному во всем диапазоне измерений или его части), обычно выражается в процентах.

Понятие о вариации показаний приборов. Абсолютная вариация показаний прибора e – разность между показаниями прибора при многократных повторных измерениях одной и той же физической величины.

На практике вариацию показаний прибора определяют как разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к ней сначала со стороны меньших, а затем со стороны больших значений измеряемой величины

По характеру проявления погрешности делятся на случайные, систематические и грубые (промахи).

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины. Систематические погрешности могут быть предсказаны, обнаружены и, благодаря этому, почти полностью устранены введением соответствующей поправки или регулировкой средства измерения.

Случайная погрешность – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений одного и того же значения физической величины, проведённых с одинаковой тщательностью в одних и тех же условиях.

Грубая погрешность (промах) – это случайная погрешность результата отдельного наблюдения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. Они, как правило, возникают из-за ошибок или неправильных действий оператора (его психофизиологического состояния, неверного отсчёта, считывания показаний с соседней шкалы прибора, ошибок в записях или вычислениях, неправильного включения приборов или сбоев в их работе и др.).

В зависимости от причин возникновения различают инструментальные, методические и субъективные погрешности.

Инструментальная погрешность – погрешность, присущая самому средству измерений, т.е. тому прибору или преобразователю, при помощи которого выполняется измерение. Причинами инструментальной погрешности могут быть несовершенство конструкции средства измерений, влияние окружающей среды на его характеристики, деформация или износ деталей прибора и т.п.

Методическая погрешность появляется вследствие несовершенства метода измерения; несоответствия измеряемой величины и её модели, принятой при разработке средства измерения; влияния средства измерений на объект измерения и процессы, происходящие в нём. Отличительной особенностью методических погрешностей является то, что они не могут быть указаны в нормативно-технической документации на средство измерения, поскольку от него не зависят, а должны определяться оператором в каждом конкретном случае.

Субъективная (личная) погрешность измерения обусловлена погрешностью отсчёта оператором показания по шкалам средства измерений, диаграммам регистрирующих приборов. Они вызываются состоянием оператора, его положением во время работы, несовершенством органов чувств, эргономическими свойствами средства измерений. Характеристики субъективной погрешности определяют на основе нормированной номинальной цены деления шкалы измерительного прибора (или диаграммной бумаги регистрирующего прибора) с учётом способностей "среднего оператора" к интерполяции в пределах деления шкалы. Эти погрешности уменьшаются по мере совершенствования приборов, например: применение светового указателя в аналоговых приборах устраняет погрешность вследствие параллакса, применение цифрового отсчёта исключает субъективную погрешность.

Объективная погрешность измерения – погрешность, не зависящая от личных качеств человека, производящего измерение.

По влиянию внешних условий различают основную и дополнительную погрешности средства измерений.

Основной называется погрешность средства измерений, определяемая в нормальных условиях его применения. Для каждого средства измерений в нормативно-технических документах оговариваются условия эксплуатации – совокупность влияющих величин (температура окружающей среды, влажность, давление, напряжение, частота питающей сети и др.), при которых нормируется его погрешность (влияющая величина – это физическая величина, не измеряемая данным средством измерений, но оказывающая влияние на его результаты).

Дополнительной называется погрешность средства измерений, возникающая вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин, т.е. дополнительная погрешность, увеличивающая общую погрешность прибора, возникает, если прибор работает в условиях, отличных от нормальных.

В зависимости от характера изменения величины погрешности при изменении измеряемой величины погрешности делятся на аддитивные и мультипликативные.

Аддитивные погрешности обусловлены смещением статической характеристики прибора вверх или вниз (вправо или влево), например из-за смещения шкалы прибора (дрейфа нуля), трения в опорах и т.д. Аддитивная погрешность не зависит от значения измеряемой величины x , т.е. постоянна по всей шкале прибора.

Мультипликативные погрешности возникают из-за погрешностей задания передаточного коэффициента k статической характеристики $y = kx$. Мультипликативная погрешность зависит от значения измеряемой величины и увеличивается к концу шкалы прибора.

1.8.2. Классы точности средств измерений

Класс точности – это обобщённая характеристика средства измерений, выражаемая пределами допускаемых значений его основной и дополнительной погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность. Класс точности не является непосредственной оценкой точности измерений, выполняемых этим средством измерений, поскольку погрешность зависит ещё от ряда факторов: метода измерений, условий измерений и т.д. Класс точности лишь позволяет судить о том, в каких пределах находится погрешность средства измерений данного типа.

Государственными стандартами для разных приборов установлены различные классы точности, которые обычно указывают на шкале или корпусе прибора. Средство измерений может иметь два и более класса точности. Например, при наличии у него двух или более диапазонов измерений одной и той же физической величины ему можно присваивать два или более класса точности. Приборы, предназначенные для измерений нескольких физических величин, также могут иметь различные классы точности для каждой измеряемой величины.

Существует несколько способов задания классов точности приборов:

– 1-й способ используется для мер. При этом способе указывается порядковый номер класса точности меры. Например, нормальный элемент 1 класса точности, набор разновесов (гирь) 2 класса точности и т.п. Порядок вычисления погрешностей в этом случае определяют по технической документации, прилагаемой к мере.

– 2-й способ предусматривает задание класса точности для приборов с преобладающими аддитивными погрешностями. В этом случае класс точности задаётся в виде числа K (без кружочка). При этом нормируется основная приведённая погрешность g_x прибора, выраженная в процентах, которая во всех точках шкалы не должна превышать по модулю числа K , т.е. $|\gamma_x| \cdot K, \%$.

Число K выбирается из ряда значений $(1,0; 1,5; 2; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0) \cdot 10^n$, где $n = 1, 0, -1, -2, \dots$.

– 3-й способ предусматривает задание класса точности для приборов с Преобладающими мультипликативными погрешностями.

В этом случае нормируется основная относительная погрешность, выраженная в процентах, так что $|\delta_x| \leq K, \%$. Класс точности задаётся в виде числа K в кружочке K . Число K выбирается из приведённого выше ряда.

– 4-й способ предусматривает задание класса точности для приборов с соизмеримыми аддитивными и мультипликативными погрешностями.

В этом случае класс точности задаётся двумя числами a / b , разделёнными косой чертой, причём $a > b$

5-й способ задания класса точности используется для приборов с резко неравномерной шкалой. Класс точности задаётся числом K , подчёркнутым галочкой $\checkmark K$. В этом случае нормируется основная приведённая погрешность в процентах от длины шкалы.

1.9. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Поверка средств измерений (поверка) – установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям [1].

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям [2].

Поверке подвергают средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору.

При поверке используют рабочий эталон. Поверку проводят в соответствии с обязательными требованиями, установленными нормативными документами по поверке. Поверку проводят специально обученные специалисты, аттестованные в качестве поверителей органами Государственной метрологической службы.

Существуют следующие виды поверок [10].

Первичная – поверка, выполняемая при выпуске средства измерений из производства или после ремонта, а также при ввозе СИ из-за границы партиями, при продаже.

Периодическая – поверка СИ, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени (обычно 1, 2 или 0,5 года).

Внеочередная – поверка СИ, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки. Необходимость внеочередной поверки может возникнуть из-за ухудшения метрологических свойств СИ или подозрения в этом, нарушения условий эксплуатации и др.

Выборочная – поверка группы СИ, отобранных из партии случайным образом, по результатам которой судят о пригодности к эксплуатации всей партии.

Инспекционная – поверка СИ, проводимая органом Государственной метрологической службы при проведении государственного надзора за состоянием и применением СИ.

Поверка средств измерений (приборов) включает в себя следующие операции [9]:

1. Определение исправности прибора и наличия комплектующих.

Для этого проводят внешний осмотр прибора, проверяют наличие паспорта, технической документации, комплектующих изделий, проверяют наличие маркировки и табличек (шильдиков) с указанием марки прибора, года изготовления, завода-изготовителя, заводского номера прибора и т.д. Проверяют отсутствие внешних повреждений, отсутствие подтёков масла и т.п. При наличии хотя бы одного из перечисленных недостатков прибор считается не прошедшим поверку.

2. После предварительного осмотра прибор подвергают собственно поверке. Целью операции поверки является проверка соответствия прибора его классу точности.

1) При поверке сличают показания поверяемого прибора с показаниями рабочего эталона по утверждённой схеме.

2) Класс точности рабочего эталона должен быть выше класса точности поверяемого прибора не менее, чем в 5 раз.

Допускается использовать рабочий эталон с классом точности в 3 раза выше класса точности поверяемого прибора при условии введения поправок в показания рабочего эталона.

3) Поверяют все оцифрованные отметки шкалы поверяемого прибора.

4) С целью выявления вариации показаний поверяемого прибора, поверку ведут при прямом ходе стрелки (при возрастании показаний) и при обратном ходе стрелки (при уменьшении показаний). Если при прямом ходе стрелка заскочила за поверяемую отметку, то её надо вернуть обратно и вновь плавно подвести к поверяемой отметке.

3. В протокол после поверки заносят рассчитанные значения погрешностей измерений и вариации показаний (в качестве абсолютной погрешности принимают максимальное из двух значений абсолютной погрешности, полученных при прямом и обратном ходе). В нижней части протокола (под таблицей) делается запись о соответствии прибора классу точности.

Прибор прошёл поверку и признан годным, если:

1) его основная приведённая (относительная) погрешность не превышает класса точности;

2) приведённая (относительная) вариация показаний не превышает $\frac{1}{2}$ класса точности для приборов, класс точности которых больше чем 0,25;

3) приведённая (относительная) вариация показаний не превышает 0,2% для приборов, класс точности которых 0,25 и меньше

Протокол подписывается лицом, выполнившим поверку. В паспорте прибора делается отметка, что прибор прошёл поверку, и ставится клеймо поверителя. Это же клеймо ставится на корпусе прибора.

1.10. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

1.10.1. Закон "Об обеспечении единства измерений"

В настоящее время создана система законодательного управления метрологической деятельностью на базе Конституции РФ, закона "Об обеспечении единства измерений", а также ряда нормативных актов по обеспечению единства измерений.

В общем виде законодательные основы метрологии закрепляет ст. 71 Конституции РФ, а основные принципы метрологической деятельности определяет закон "Об обеспечении единства измерений", который впервые был принят в 1993 г. В июне 2008 г. был принят новый вариант этого закона. Закон направлен на защиту прав и законных интересов граждан и определяет основные положения в области обеспечения единства измерений и одновременно создаёт законодательную базу для образования необходимых подзаконных актов. Основные статьи закона устанавливают:

1. Основные понятия, связанные с обеспечением единства измерений.
2. Требования к измерениям, единицам величин, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений.
3. Формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений:
 - утверждение типа стандартных образцов и средств измерений;
 - поверка и калибровка средств измерений;
 - метрологическая экспертиза;
 - государственный метрологический надзор;
 - аттестация методик (методов) измерений;
 - аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и оказание услуг в области обеспечения единства измерений.
4. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.
5. Организационные основы обеспечения единства измерений:
 - федеральные органы исполнительной власти;
 - государственные научные метрологические институты;
 - государственные региональные центры метрологии;
 - метрологические службы, организации, осуществляющие деятельность по обеспечению единства измерений.
6. Ответственность за нарушение законодательства РФ об обеспечении единства измерений.
7. Финансирование в области обеспечения единства измерений.

1.10.2. Государственная метрологическая служба

Государственная метрологическая служба (ГМС) представляет собой систему органов и организаций, действующих в целях обеспечения единства измерений в стране и осуществления государственного метрологического контроля и надзора.

Главными задачами ГМС являются реализация технической политики по обеспечению единства измерений в стране, влияющей на уровень жизни и благосостояние граждан, экономику и производство, оборону государства, правопорядок, науку и технику, международное сотрудничество, а также координация деятельности органов исполнительной власти РФ и юридических лиц в области обеспечения единства измерений.

Общее руководство ГМС осуществляет Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (ФАТРИМ), в компетенцию которого в сфере управления обеспечением единства измерений входят:

- межрегиональная и межотраслевая координация деятельности по обеспечению единства измерений в РФ;
- представление Правительству РФ предложений по единицам величин, допускаемых к применению;
- установление правил создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц физических величин;
- определение общих метрологических требований к средствам, методам и результатам измерений;
- осуществление государственного метрологического контроля и надзора;
- осуществление контроля за соблюдением условий международных договоров РФ о признании результатов испытаний и поверки средств измерений;
- руководство деятельностью ГМС и иных государственных служб по обеспечению единства измерений;
- участие в деятельности международных организаций по вопросам обеспечения единства измерений.

ГМС включает:

- подразделения центрального аппарата ФАТРИМ, осуществляющие функции по обеспечению единства измерений;
- государственные научные метрологические центры (ГНМЦ);
- органы ГМС на территории республик РФ, автономных округов, краёв, областей, городов.

Функции органов ГМС:

- осуществляют поверку СИ, подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору (ГМКиН), при выпуске их из производства или ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации;
- обеспечивают хранение и содержание эталонов, применяемых для поверки СИ, а также передачу размеров единиц величин эталонам, используемым в соответствии с установленными требованиями метрологическими службами различных предприятий и организаций;
- выполняют работы по испытаниям, утверждению типа и сертификации СИ;
- осуществляют государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением СИ; за эталонами единиц величин; за соблюдением метрологических правил и норм;
- осуществляют государственный метрологический надзор за количеством товаров при совершении торговых операций;
- принимают участие в проведении работ по аккредитации испытательных и измерительных центров, а также метрологических служб предприятий и организаций;
- принимают участие в испытаниях и сертификации продукции и услуг, в аттестации производств предприятий, представляющих продукцию и услуги на сертификацию;
- осуществляют межотраслевую координацию деятельности по обеспечению единства измерений на основе взаимодействия с метрологическими службами различных отраслей;
- выполняют на основе договоров работы и услуги инженерно-технического и методического характера.

В состав ГМС входят 7 государственных научных метрологических центров, Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС), который осуществляет научно-методическое руководство ГМС, а также около 100 центров стандартизации, метрологии и сертификации (ЦСМ).

1.10.3. Метрологические службы юридических лиц

Метрологические службы создаются для научно-технического и организационно-методического руководства работами по метрологическому обеспечению.

Метрологическое обеспечение – это установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Большую роль для метрологического обеспечения на конкретных предприятиях и производствах играют метрологические службы юридических лиц. В их обязанности входят:

- организация и обеспечение метрологического обслуживания (ремонт, поверка, калибровка, наладка, учёт, хранение средств измерений, используемых в производстве);
- разработка, внедрение в производственный процесс современных методик выполнения измерений и методов испытаний, проведение их аттестации;
- обеспечение производственного процесса средствами измерений и установление рациональной номенклатуры средств измерений и поверочной аппаратуры, применяемых на предприятии;
- установление оптимального перечня измеряемых параметров и норм точности измерений, обеспечивающих точность контроля режимов технологических процессов, контроля сырья и готовой продукции;
- осуществление метрологического контроля и надзора на данном предприятии.

Для проведения ряда работ, таких как аттестация методик выполнения измерений, метрологическая экспертиза документации, метрологические службы предприятий и организаций должны быть аккредитованы.

1.10.4. Государственный метрологический контроль и надзор (ГМКиН)

Виды и сферы ГМКиН определяются законом "Об обеспечении единства измерений".

Законом одни виды контрольно-надзорной деятельности определяются как государственный метрологический контроль, а другие – как государственный метрологический надзор (рис. 1.11).

Государственный метрологический контроль (ГМК) включает виды деятельности: утверждение типа средств измерений (СИ) и поверку СИ, в том числе рабочих эталонов.

Государственный метрологический надзор (ГМН) включает: надзор за выпуском, состоянием и применением СИ, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм; надзор за количеством товаров при совершении торговых операций.

ГМН – это система мер, осуществляемых органами ГМС в пределах их компетенции в целях обеспечения соблюдения предприятиями и индивидуальными предпринимателями закона "Об обеспечении единства измерений".

ГМН проводится в виде проверок государственными инспекторами по обеспечению единства измерений в объединениях, организациях, учреждениях и на предприятиях любых форм собственности. Государственные инспекторы при предъявлении служебного удостоверения имеют право посещать объекты, где эксплуатируются, производятся, ремонтируются, продаются, содержатся или хранятся СИ и выполнять свои функции.

Одним из важнейших видов ГМК является утверждение типа СИ.

Утверждению типа подлежат СИ при ввозе на территорию РФ, а также СИ, предназначенные для выпуска из производства. Решение об утверждении типа принимается на основании проведённых испытаний СИ. Испытания СИ проводят государственные центры испытаний СИ (ГЦИ СИ), аккредитованные ФАТР.

В основе испытаний СИ для целей утверждения типа лежат определение метрологических характеристик конкретных образцов и экспериментальная апробация методики поверки этих СИ.

Поверке как виду ГМК подлежат СИ при выпуске их из производства, ремонта, при эксплуатации, при ввозе по импорту, а также при продаже и выдаче в прокат.

Право поверки СИ предоставляется органам ГМС или аккредитованным метрологическим службам предприятий и организаций. Поверка СИ проводится физическими лицами, которые имеют квалификацию поверителя и прошли специальную аттестацию. При положительных результатах поверки на СИ наносится поверительное клеймо или выдаётся "Свидетельство о поверке". В ином случае выписывается "Извещение о непригодности" или делается соответствующая запись в технической документации.

1.10.5. Международные организации и сотрудничество в области метрологии

Одной из крупнейших международных организаций в области метрологии является Международное бюро мер и весов (МБМВ). МБМВ было создано 20 мая 1875 г., когда Россия вместе с 16 государствами подписала Метрическую Конвенцию, устанавливающую проведение совместных метрологических работ по обеспечению единства измерений. В настоящее время около 90 государств являются членами Метрической Конвенции. МБМВ хранит эталоны единиц массы, длины, электрических и световых единиц и радиоактивности, проводит сличения национальных эталонов.

Деятельностью МБМВ руководит Международный комитет мер и весов (МКМВ), в работе которого принимает участие представитель России. При МКМВ создано 10 консультативных комитетов: по электричеству и магнетизму (ККЭМ), фотометрии и радиометрии (ККФР), по термометрии (ККТ), по длине (ККД), времени и частоте (ККВЧ), по ионизирующим излучениям (ККИИ), по единицам (ККЕ), по массе (ККМ), по количеству вещества (КККВ), по акустике, ультразвуку и вибрации (ККАУВ).

В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) приняла Международную систему единиц (СИ), которая является общепризнанной во всем мире.

Участие России в Международной организации мер и весов способствует признанию результатов измерений и испытаний, обмену научно-технической информацией, технологиями, облегчает поддержку точности государственных эталонов, содействует международному авторитету российской метрологии.

Международная организация Законодательной Метрологии (МОЗМ) является ведущей международной организацией в области законодательной и прикладной метрологии. МОЗМ учреждена в 1956 г. на основе межправительственной Конвенции, подписанной более чем 80 государствами, в том числе и СССР. Россия является правопреемницей СССР и принимает активное участие в работе МОЗМ. Основные цели и задачи участия России в работе МОЗМ следующие:

- установление единой терминологии среди стран-членов МОЗМ в области метрологии, унификация методов оценки погрешностей, обеспечение единства и требуемой точности измерений при международном и техническом обмене, обеспечение согласованных требований к нормируемым характеристикам, методам и средствам измерений;
- внедрение достижений отечественной науки и техники в области метрологии в Международные рекомендации (МР) и Международные документы (МД).

Международные рекомендации устанавливают требования к метрологическим характеристикам, методикам оценки и формам составления отчетов, а также являются главным инструментом гармонизации всех аспектов метрологических правил. Рекомендации разрабатываются техническими комитетами. Российская Федерация