

Метрология, стандартизация и сертификация

направление подготовки

Объект и предмет метрологии

Метрология (от греч. «metron»- мера, «logos» - учение) - это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения единства измерений и методах и средствах обеспечения их требуемой точности.

Любая наука является состоявшейся, если она имеет свой объект, предмет и методы исследования. Предмет любой науки отвечает на вопрос ЧТО ей изучается.

Объектом метрологии является физическая величина. Объект науки может быть общим для ряда других наук.

Предметом метрологии является измерение свойств объектов (длины, массы, плотности и т.д.) и процессов (скорость протекания, интенсивность протекания и др.) с заданной точностью и достоверностью.

Метрологию разделяют на три основных раздела: «Теоретическая метрология», «Прикладная (практическая) метрология» и «Законодательная метрология».

Основными задачами метрологии являются:

- установление единиц физических величин, государственных эталонов и образцовых средств измерений;
- разработка теории, методов и средств измерений и контроля;
- обеспечение единства измерений и единообразных средств измерений;
- разработка методов оценки погрешностей, состояния средств измерения и контроля;
- разработка методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

Основные понятия и определения метрологии

Мера - это средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Физическая величина - это одно из свойств физического объекта, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого физического объекта.

Физические величины делятся на *измеряемые* и *оцениваемые*.

Измеряемые физические величины могут быть выражены количественно в установленных единицах измерения (единицах физической величины).

Оцениваемые физические величины это величины, для которых единицы измерений не могут быть введены. Их определяют при помощи установленных шкал.

Физические величины классифицируются по следующим видам явлений:

- а) *вещественные* - они описывают физические и физико-химические свойства веществ, материалов и изделий из них;
- б) *энергетические* - описывают энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и поглощение (использование) энергии;
- в) *физические* - величины, характеризующие протекание процессов во времени.

Система единиц физических величин - это совокупность основных и производных единиц физических величин, относящихся к некоторой системе величин.

Так, в международной системе единиц СИ (Система Интернациональная) принято семь *основных единиц* физических величин: единица времени - секунда (с), единица длины - метр (м), массы - килограмм (кг), единица силы электрического тока - ампер (А), термодинамической температуры - кельвин (К), силы света - кандела (кд) и единица количества вещества - моль (моль).

Дополнительные единицы: плоский угол - радиан (Рад), телесный угол - стерадиан (ср).

Эталон единицы массы - *килограмм* - представляет собой цилиндр из сплава платины (90%) и иридия (10%), у которого диаметр и высота примерно одинаковы (около 30 мм).

За единицу времени принята *секунда*, равная 9.192.631.770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Эталоном единицы силы тока принят *ампер* - сила неизменяющегося во времени электрического тока, который, протекая в вакууме по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным один от другого на расстоянии 1 м, создаёт на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Единицей термодинамической температуры является **кельвин**, составляющий $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

За эталон количества вещества принят **моль** - количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов частиц, сколько атомов содержится в 12 г углерода-12 (1 моль углерода имеет массу 2 г, 1 моль кислорода - 32 г, а 1 моль воды - 18 г).

Эталон единицы света – **кандела** - представляет собой силу 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/ср.

Радиян равен углу между двумя радиусами окружности, дуга между которыми по длине равна радиусу.

Стерadian равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, по длине равной радиусу сферы.

Размер ФВ (размер величины) - *количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина» (например, размер длины, массы, силы тока и т.д.).*

Значение ФВ (значение величины) - оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц называется числовым значением (например, 1 м, 5 г, 10 А и др.).

Размерность ФВ - это более общая характеристика, чем определяющее величину уравнение, так как одна и та же размерность может быть присуща величинам, имеющим различную качественную сторону и различающимся по форме определяющего уравнения.

Например, работа силы F определяется уравнением $A = F \cdot l$; кинетическая энергия движущегося тела – уравнением $E = mv^2/2$, а размерность той и другой - одинакова.

Размерность ФВ представляет собой произведение основных величин, возведенных в соответствующие степени (например, в системе ЛМТ размерность величины X будет: $\dim X = L^\alpha M^\beta T^\gamma$,

где L, M, T - размерности основных величин, α, β, γ - целые или дробные, положительные или отрицательные вещественные числа, которые являются показателями размерности).

| Физическая величина | Размерность | Наименование | Обозначение |
|-------------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Длина | L | метр | м |
| Масса | M | килограмм | кг |
| Время | T | секунда | с |
| Сила электрического тока | I | ампер | А |
| Термодинамическая температура | Θ | кельвин | К |
| Количество вещества | N | моль | моль |
| Сила света | J | кандела | кд |
| Плоский угол | | радиан | рад |
| Телесный угол | | стерадиан | ср |

Давление определяется по уравнению $p = F/S$, где $F = ma$, m – масса, a – ускорение, S – площадь поверхности, воспринимающей усилие F . Размерность давления $L^{-1}MT^{-2}$, $(m^{-1} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2})$

Энергия определяется по уравнению $E = mc^2$, где m – масса, c – скорость света. Размерность энергии E L^2MT^{-2} , $(m^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2})$

Мощность определяется по уравнению $P = F l/t$, где действующая сила $F = ma$, m – масса, a – ускорение, l – длина плеча приложения силы, t – время приложения силы. Размерность мощности P L^2MT^{-3} , $(m^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3})$

Методы измерений – совокупность приема использования различных физических принципов и средств.

1. По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения методы подразделяются на:

статические, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени (например, измерение длины детали при нормальной температуре)

динамические, в процессе которых измеряемая величина изменяется и является непостоянной во времени (например, измерение расстояния до поверхности земли со снижающегося самолета).

2. По способу получения результатов измерений (виду уравнения измерений) методы измерения разделяют на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямые измерения – значение физической величины находят из опытных данных.

Косвенные измерения – физическую величину находят на основании известной от величин, подвергаемых прямым измерениям.

Совместными называют измерения, производимые одновременно (прямые или косвенные) двух или нескольких неоднoименных величин. Целью совместных измерений является нахождение функциональной зависимости между величинами, например зависимости длины тела от температуры, зависимости электрического сопротивления проводника от давления и т.п.

Совокупные измерения, в которых значения измеряемых величин находят по данным повторных измерений одной или нескольких одноименных величин при различных сочетаниях мер этих величин. Результаты совокупных измерений находят путем решения системы уравнений, составляемых по результатам нескольких прямых измерений. Например, массы отдельных гирь набора находят по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь.

3. По способу выражения результатов измерения различают абсолютные и относительные измерения.

Абсолютные измерения – основаны на прямых измерениях основных величин и использовании значений физических констант (измерение штангенциркулем, микрометром).

Относительные измерения – искомую величину сравнивают с одноименной, играющей роль единицы или принятой за исходную (измерение \emptyset по числу оборотов соприкасающегося с ней аттестованного ролика).

4. По числу измерений для получения результата однократные и многократные.

Однократным называют измерение, выполненное один раз. Например, измерение времени по часам.

Если необходима большая уверенность в получаемом результате, то проводят многократные измерения одной и той же величины, за результат которого обычно принимают среднее арифметическое значение отдельных измерений. Обычно для многократных измерений число измерений $n \geq 3$.

5. В зависимости от точности применяемых средств измерения и условий измерения их подразделяют на равноточные и неравноточные.

Равноточными называют измерения величины, выполненных с одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

Если измерения были выполнены различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях, то их называют неравноточными.

Шкалы измерений

Размер измеряемой величины является количественной ее характеристикой. Получение информации о размере физической величины является содержанием любого измерения. В теории измерений различают пять типов шкал: наименований, порядка, разностей (интервалов), отношений и абсолютные.

Шкалы наименований характеризуются только отношением эквивалентности (равенства). Примером такой шкалы является классификация цвета по наименованиям (атласы цветов до 1000 наименований).

Шкалы порядка - это расположенные в порядке возрастания или убывания размеры измеряемой величины. Свойство объекта проявляет себя в отношении порядка и эквивалентности. Расстановка размеров в порядке возрастания или убывания с целью получения измерительной информации по шкале порядка называется **ранжированием**. Для облегчения измерений по шкале порядка некоторые точки на ней можно зафиксировать в качестве опорных (реперных). Недостатками реперных шкал является неопределенность интервалов между реперными точками. Поэтому баллы нельзя складывать, вычислять, перемножать, делить и т.п.

Примерами таких шкал являются: знания студентов по баллам, землетрясения по 12-бальной системе, сила ветра по шкале Бофорта, чувствительность пленок, твердость по шкале Мооса и шкала землетрясений Рихтера (сейсмическая шкала).

Шкалы разностей (интервалов) отличаются от шкал порядка тем, что по шкале интервалов можно судить не только о том, что размер больше другого, но и насколько больше. По шкале интервалов возможны такие математические действия, как сложение и вычитание. Характерным примером является шкала интервалов времени, поскольку интервалы времени можно суммировать или вычитать. По шкалам интервалов измеряют время, расстояние (если не известно начало пути), температуру по Цельсию и т. д.

Шкалы отношений описывают свойства, к множеству количественных проявлений к которым применимы отношения эквивалентности, порядка и аддитивности то есть вычитания и умножения. В шкале отношений существует нулевое значение показателя свойства. Примерами шкал отношений являются шкалы массы, длины, скорости, термодинамической температуры. **Любое измерение по шкале отношений заключается в сравнении неизвестного размера с известным и выражении первого через второй в кратном или дольном отношении. Шкалы отношений самые совершенные.**

Абсолютные шкалы обладают всеми признаками шкал отношений, но в них дополнительно существует естественное однозначное определение единицы измерения. Такие шкалы соответствуют относительным величинам (отношения одноименных физических величин, описываемых шкалами отношений). К таким величинам относятся коэффициент усиления, ослабления и т.п. Среди этих шкал существуют шкалы, значения которых находятся в пределах от 0 до 1 (коэффициент полезного действия).

Классификация погрешностей измерения

Понятие *единство измерений* характеризует состояние измерений, когда их результаты выражены в узаконенных единицах, а погрешности известны и не выходят за установленные пределы с заданной вероятностью.

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

Погрешности классифицируются по следующим признакам:

По форме числового выражения

- а) *абсолютные*;
- б) *относительные*.

Например, вагон массой 50 т измерен с абсолютной погрешностью ± 50 кг, а в относительном выражении эта погрешность составит 0,1%.

По источникам возникновения

- а) *инструментальные* (обусловленные свойствами средств измерения твердости, геометрических параметров и т.д.);
- б) *методические* погрешности, возникающие в результате несовершенства принятого метода измерений, при использовании эмпирических зависимостей (формула получена на основе эксперимента) и т.д.;
- в) *субъективные* - погрешности оператора.

По характеру проявления

а) *систематическая* - такая погрешность в процессе измерения одной и той же физической величины остается постоянной или изменяется по определенному закону при одинаковых условиях измерения, т.е. не меняются внешние условия измерения (температура, давление, влажность, уровень вибраций и др.), оператор, класс точности измерительного прибора, цена деления измерительного прибора;

постоянная (присутствует все время на протяжении измерений);

временная;

б) *случайная* - это погрешность, которая изменяется случайным образом при повторном измерении одной и той же величины в одних и тех же условиях. Случайные погрешности, в отличие от систематических, изменяются хаотично по неизвестному закону.

Эталоны единиц физических величин

Эталоны физических величин - это средство измерения, предназначенное для воспроизведения и хранения физической величины с целью ее передачи другим средствам измерения данной величины.

Все эталоны делятся на два больших вида:

1. Государственный первичный эталон. Он утвержден в качестве исходного для всей страны.
2. Вторичные эталоны, которые делятся на четыре группы:
 - А) Эталоны - свидетели. Они предназначены для замены государственного первичного эталона в случае его порчи или утраты.

- Б) Эталоны - сравнения. Служат для сличения эталонов, которые по каким-либо причинам не могут непосредственно сличаться друг с другом.
- В) Эталоны - копии. Используются для передачи размеров к рабочим эталонам.
- Г) Рабочие эталоны. Применяются для контроля качества продукции, а также для поверки рабочих средств измерения.

ЗАКОН РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
«ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЯ»

Раздел 1. Общие положения

Статья 1. Основные понятия

Единство измерений - состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью;

- средство измерения - техническое устройство, предназначенное для измерений;

- ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИНЫ;
- ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭТАЛОН;
- НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ - ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ;
- МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА;
- МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И НАДЗОР;
- ПОВЕРКА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ;

- калибровка средства измерений - совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и пригодности к применению средства измерений, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору;
- сертификат об утверждении типа средств измерений;
- аккредитация на право поверки средств измерений;
- лицензия на изготовление средств измерений;
- сертификат о калибровке.

Статья 4. Государственное управление обеспечением единства измерений

1. Государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений в Российской Федерации осуществляет Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России).
2. К компетенции Госстандарта России относятся: межрегиональная и отраслевая координация деятельности по обеспечению единства измерений в Российской Федерации; представление по единицам величин, допускаемых к применению;
3. Установление правил создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц величин; осуществление государственного метрологического контроля надзора; руководство деятельностью Государственной метрологической службы и иных государственных служб обеспечения единства измерения.

Статья 6. Единицы величин

В Российской Федерации в установленном порядке допускаются к применению единицы величин Международной системы единиц

Статья 7. Государственные эталоны единиц величин

Статья 8 . Средства измерений

Статья 9. Методики выполнения измерений

Раздел 3. Метрологические службы.

Статья 10. Государственная метрологическая служба и иные государственные службы обеспечения единства измерений

1. Государственная метрологическая служба находится в ведении Госстандарта России и включает:

- государственные научные метрологические центры;
- органы Государственной метрологической службы на территориях республик в составе Российской Федерации, автономных округов, краев, областей.
- Госстандарт России осуществляет руководство Государственной службой времени и частоты и определения параметров вращения Земли.