

Лекция 1

11.02.2014

ВВЕДЕНИЕ

1. Предмет и задачи метрологии

В современной рыночной экономике конкурентоспособность выпускаемой продукции определяет жизнеспособность данного предприятия. Одним из главных факторов, влияющих на конкурентоспособность продукции, услуг, является их качество. Стандартизация, метрология и сертификация продукции, работ и услуг являются инструментами обеспечения качества.

Метрология – наука об измерениях и средствах обеспечения их единства и способа достижения требуемой точности.

Происхождение самого термина «метрология» восходит к двум греческим словам: metron, что переводится как «мера», и logos – «учение».

Основные задачи метрологии:

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

Выделяют несколько **основных направлений** метрологии:

- 1) общая теория измерений;
- 2) системы единиц физических величин;
- 3) методы и средства измерений;
- 4) методы определения точности измерений;
- 5) основы обеспечения единства измерений, а также основы единообразия средств измерения;
- 6) эталоны и образцовые средства измерений;
- 7) методы передачи размеров единиц от образцов средств измерения и от эталонов рабочим средствам измерения.

Следует различать также **объекты метрологии**:

- 1) единицы измерения величин;
- 2) средства измерений;
- 3) методики, используемые для выполнения измерений и т. д.

2. Основные термины метрологии

В метрологии используются следующие величины и их определения:

1) Физическая величина – характеристика одного из свойств физического объекта:

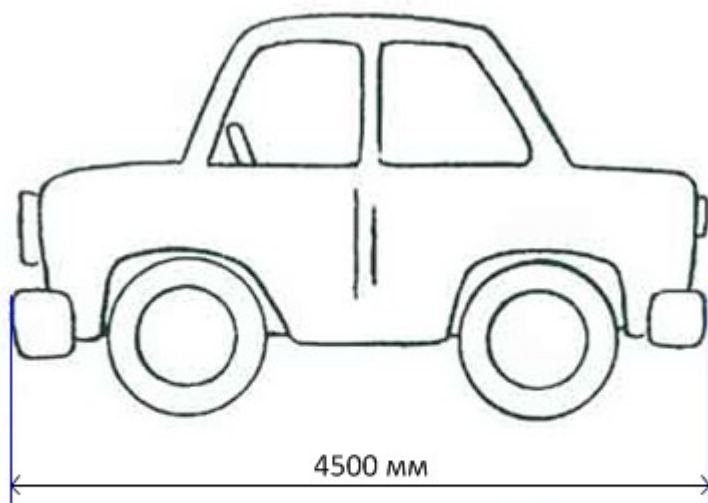
- общая в качественном отношении многим физическим объектам; но
- индивидуальная в количественном отношении для каждого объекта.

Для физической величины определены два основных понятия:

1.1) Значение физической величины – одно или несколько (в случае тензорной физической величины) чисел, характеризующих эту физическую величину, с указанием единицы измерения, на основе которой они были получены.

1.2) Размер физической величины – значения чисел, фигурирующих в значении физической величины.

Например, автомобиль может быть охарактеризован с помощью такой *физической величины*, как длина (рисунок 1). При этом *значением* этой физической величины будет, например, 4500 мм, а *размером* – число 4500, или же *значением* будет 450 см., а *размером* – число 450. Этот же автомобиль может быть охарактеризован с помощью другой *физической величины* – скорости. При этом, *значением* этой физической величины будет, например, вектор определённого направления 100 км/ч, а *размером* – число 100.



Физическая величина: **длина**

Значение физ.величины: **4500 мм**

Размер физ.величины: **4500**

Единица измерения физ.величины: **1 мм**

Рисунок 1.

2) Единица физической величины, что подразумевает под собой физическую величину, которой по условию присвоено числовое значение, равное единице.

3) Измерение физических величин, под которым имеется в виду количественная и качественная оценка физического объекта с помощью средств измерения.

4) Средство измерения, представляющее собой техническое средство, имеющее нормированные метрологические характеристики. К ним относятся

измерительный прибор, мера, измерительная система, измерительный преобразователь, совокупность измерительных систем.

4.1) Измерительный прибор представляет собой средство измерений, вырабатывающее информационный сигнал в такой форме, которая была бы понятна для непосредственного восприятия наблюдателем.

4.2) Мера – также средство измерений, воспроизводящее физическую величину заданного размера. Например, если прибор аттестован как средство измерений, его шкала с оцифрованными отметками является мерой.

4.3) Измерительная система, воспринимаемая как совокупность средств измерений, которые соединяются друг с другом посредством каналов передачи информации для выполнения одной или нескольких функций.

4.4) Измерительный преобразователь – также средство измерений, которое производит информационный измерительный сигнал в форме, удобной для хранения, просмотра и трансляции по каналам связи, но не доступной для непосредственного восприятия.

5) Принцип измерений как совокупность физических явлений, на которых базируются измерения.

6) Метод измерений как совокупность приемов и принципов использования технических средств измерений.

7) Методика измерений как совокупность методов и правил, разработанных метрологическими научно-исследовательскими организациями, утвержденных в законодательном порядке.

8) Погрешность измерений, представляющую собой различие между истинными значениями физической величины и значениями, полученными в результате измерения.

9) Основная единица измерения, понимаемая как единица измерения, имеющая эталон, который официально утвержден; - например, единица массы – килограмм.

10) Производная единица как единица измерения, связанная с основными единицами на основе математических моделей через энергетические соотношения, не имеющая эталона; - например, грамм – одна тысячная килограмма.

11) Эталон, который имеет предназначение для хранения и воспроизведения единицы физической величины, для трансляции ее габаритных параметров нижестоящим по поверочной схеме средствам измерения. Существует понятие «первичный эталон», под которым понимается средство измерений, обладающее наивысшей в стране точностью. Есть понятие «эталон сравнений», трактуемое как средство для связи эталонов межгосударственных служб. И есть понятие «эталон-копия» как средство измерений для передачи размеров единиц образцовым средствам.

12) Образцовое средство, под которым понимается средство измерений, предназначенное только для трансляции габаритов единиц рабочим средствам измерений.

13) Рабочее средство, понимаемое как «средство измерений для оценки физического явления».

14) Точность измерений, трактуемая как числовое значение физической величины, обратное погрешности, определяет классификацию образцовых средств измерений. По показателю точности измерений средства измерения можно разделить на: наивысшие, высокие, средние, низкие.

3. Измерения. Классификация измерений

Классификация средств измерений может проводиться по следующим критериям.

1. По характеристике точности измерения делятся на равноточные и неравноточные.

Равноточными измерениями физической величины называется ряд измерений некоторой величины, сделанных при помощи средств измерений (СИ), обладающих одинаковой точностью, в идентичных исходных условиях.

Неравноточными измерениями физической величины называется ряд измерений некоторой величины, сделанных при помощи средств измерения, обладающих разной точностью, и (или) в различных исходных условиях.

2. По количеству испытаний измерения делятся на однократные и многократные.

Однократное измерение – это измерение одной величины, сделанное один раз. Однократные измерения на практике имеют большую погрешность, в связи с этим рекомендуется для уменьшения погрешности выполнять минимум три раза измерения такого типа, а в качестве результата брать их среднее арифметическое.

Многократные измерения – это измерение одной или нескольких величин, выполненное четыре и более раз. Многократное измерение представляет собой ряд однократных измерений. Минимальное число измерений, при котором измерение может считаться многократным, – четыре. Результатом многократного измерения является среднее арифметическое результатов всех проведенных измерений. При многократных измерениях снижается погрешность.

3. По типу изменения величины измерения делятся на статические и динамические.

Статические измерения – это измерения постоянной, неизменной физической величины. Примером такой постоянной во времени физической величины может послужить длина земельного участка.

Динамические измерения – это измерения изменяющейся, непостоянной физической величины, *например, измерение силы тока.*

4. По назначению измерения делятся на технические и метрологические.

Технические измерения – это измерения, выполняемые техническими средствами измерений.

Метрологические измерения – это измерения, выполняемые с использованием эталонов.

5. По способу представления результата измерения делятся на абсолютные и относительные.

Абсолютные измерения – это измерения, которые выполняются посредством прямого, непосредственного измерения основной величины и (или) применения физической константы.

Относительные измерения – это измерения, при которых вычисляется отношение однородных величин, причем числитель является сравниваемой величиной, а знаменатель – базой сравнения (единицей). Результат измерения будет зависеть от того, какая величина принимается за базу сравнения.

6. По методам получения результатов измерения делятся на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямые измерения – измерения, выполняемые при помощи мер, т. е. измеряемая величина сопоставляется непосредственно с ее мерой. Примером прямых измерений является измерение величины угла (мера – транспортир).

Косвенные измерения – измерения, при которых значение измеряемой величины вычисляется при помощи значений, полученных посредством прямых измерений, и некоторой известной зависимости между данными значениями и измеряемой величиной, *например, вычисление синуса по значениям гипотенузы и противолежащего катета, измеренных линейкой.*

Совокупные измерения – это измерения, результатом которых является решение некоторой системы уравнений, которая составлена из уравнений, полученных вследствие измерения возможных сочетаний измеряемых величин. *Например, определение масс гирь набора гирь (1, 2, 2, 5) кг с использованием одной эталонной гири 1 кг и «весов», предназначенных для определения разности масс двух грузов. Сравнивают, например: эталон с гирей 1 кг из набора; – эталон + гирю 1 кг из набора с гирей 2 кг из набора; – эталон + гирю 1 кг из набора с другой гирей 2 кг из набора; – гири 1 + 2 + 2 кг из набора с оставшейся гирей 5 кг из набора.*

Совместные измерения – это измерения, в ходе которых измеряется минимум две неоднородные физические величины с целью установления существующей между ними зависимости. *Например, определение зависимости тока от напряжения: меняем напряжение, и смотрим, как при этом меняется ток, проводим соответствующие измерения меняющихся напряжения и тока, получаем зависимость тока от напряжения, а потом определяем, что это за зависимость, и все её параметры.*

4. Основные характеристики измерений

Выделяют следующие основные характеристики измерений:

- 1) метод, которым проводятся измерения;
- 2) принцип измерений;
- 3) погрешность измерений;
- 4) точность измерений;

- 5) правильность измерений;
- 6) достоверность измерений.

1) Метод измерений – это способ или комплекс способов, посредством которых производится измерение данной величины, т. е. сравнение измеряемой величины с ее мерой согласно принятому принципу измерения. Можно выделить следующие методы измерений:

1. По способу получения значений измеряемых величин различают два основных метода измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

Метод непосредственной оценки – метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (например, измерение с помощью линейки, микрометра).

Метод сравнения с мерой – метод измерения, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Существует несколько разновидностей метода сравнения:

- Метод противопоставления, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения. *Например, взвешивание груза на равноплечих весах, когда измеряемая масса определяется как сумма массы гирь, ее уравнивающих.*
- Дифференциальный метод, при котором измеряемую величину сравнивают с известной величиной, воспроизводимой мерой. *Этим методом, например, определяют отклонение контролируемого диаметра детали на оптиметре после его настройки на нуль по блоку концевых мер длины;*
- Нулевой метод, при котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. *Подобным методом измеряют электрическое сопротивление по схеме моста с полным его уравниванием;*
- Метод совпадений, при котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов. *Например, при измерении штангенциркулем используют совпадение отметок основной и нониусной (вспомогательной) шкал.*

2. При измерении линейных величин независимо от рассмотренных методов различают контактный и бесконтактный методы измерений.

3. В зависимости от измерительных средств, используемых в процессе измерения, различают инструментальный, экспертный, эвристический и органолептический методы измерений.

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

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

- **Эвристические методы** оценки основаны на интуиции. Широко используются способ попарного сопоставления, когда измеряемые величины сначала сравниваются между собой попарно, а затем производится ранжирование на основании результатов этого сравнения.

- **Органолептические методы** оценки основаны на использовании органов чувств человека (осязания, обоняния, зрения, слуха и вкуса). Часто используются измерения на основе впечатлений (конкурсы мастеров искусств, соревнования спортсменов).

2) Принцип измерений – это некое физическое явление или их комплекс, на которых базируется измерение. Например, измерение температуры основано на явлении расширения жидкости при ее нагревании (ртуть в термометре).

3) Погрешность измерения – это разность между результатом измерения величины и настоящим (действительным) значением этой величины. Погрешность, как правило, возникает из-за недостаточной точности средств и методов измерения или из-за невозможности обеспечить идентичные условия при многократных наблюдениях.

4) Точность измерений – это характеристика, выражающая степень соответствия результатов измерения настоящему значению измеряемой величины. Количественно точность измерений равна величине относительной погрешности в минус первой степени, взятой по модулю.

5) Правильность измерения – это качественная характеристика измерения, которая определяется тем, насколько близка к нулю величина постоянной или фиксировано изменяющейся при многократных измерениях погрешности (систематическая погрешность). Данная характеристика зависит, как правило, от точности средств измерений.

Основная характеристика измерений – это достоверность измерений.

6) Достоверность измерений – это характеристика, определяющая степень доверия к полученным результатам. По данной характеристике измерения делятся на достоверные и недостоверные. Достоверность зависит того, известна ли вероятность отклонения результатов измерения от настоящего значения измеряемой величины. Если же достоверность не определена, то результаты таких измерений, как правило, не используются. Достоверность измерений ограничена сверху погрешностью измерений.

5. Единицы измерения физических величин

(фильм «BBC: Точность и погрешность измерений», 3 серии)

В 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам была утверждена Международная система единиц (СИ). В основе Международной системы единиц лежат семь единиц, охватывающих следующие области науки: механику, электричество, теплоту, оптику, молекулярную физику, термодинамику и химию:

- 1) единица длины (механика) – **метр**;
- 2) единица массы (механика) – **килограмм**;

- 3) единица времени (механика) – **секунда**;
- 4) единица силы электрического тока (электричество) – **ампер**;
- 5) единица термодинамической температуры (теплота) – **кельвин**;
- 6) единица силы света (оптика) – **кандела**;
- 7) единица количества вещества (молекулярная физика, термодинамика и химия) – **моль**.

В Международной системе единиц есть *дополнительные единицы*:

- 8) единица измерения плоского угла – **радиан**;
- 9) единица измерения телесного угла – **стерадиан**.

Решениями Генеральной конференции по мерам и весам приняты следующие определения основных единиц измерения физических величин:

1) **Метр** считается длиной пути, который проходит свет в вакууме за 1/299 792 458 долю секунды;

2) **Килограмм** есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма. Прототип килограмма, хранится в штаб-квартире Международного бюро мер и весов в Севре.

Первоначально килограмм определялся как масса одного кубического дециметра (литра) чистой воды при температуре 4 °С и стандартном атмосферном давлении на уровне моря.

Килограмм является единственной из основных единиц системы СИ, которая используется с приставкой («кило», обозначение «к»). Также является единственной из оставшихся к настоящему времени единиц СИ, которые определены на основе объекта, изготовленного человеком, а не на основе физических свойств, что могут быть воспроизведены в разных лабораториях. Эталон килограмма хранится в Международном бюро мер и весов (во Франции) и представляет собой цилиндр диаметром и высотой 39.17 мм из платино-иридиевого сплава (90 % платины, 10 % иридия). За время хранения масса эталона уменьшилась на немалую величину (до 0,1 мкг). Один из претендентов на роль нового эталона килограмма — шар из кристалла изотопа кремния-28, созданный немецкими учеными из Института выращивания кристаллов. Здесь в качестве меры килограмма предлагается использовать не массу этого шара, а число атомов, которое он содержит.

Четыре из семи базовых единиц в системе СИ определены с учётом килограмма, поэтому постоянство его величины очень важно.

3) **Секунда** определяется как время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. Как единица времени, секунда вошла в английский язык в конце 16 века, примерно за сто лет перед тем, как она была с достаточной точностью измерена.

В 1832 году немецкий математик Карл Фридрих Гаусс предложил использовать секунду в качестве базовой единицы времени в своей системе единиц, использующей наряду с секундой миллиметр и миллиграмм.

Британская Научная Ассоциация в 1874 году разработала систему единиц измерения «Сантиметр-Грамм-Секунда», которая в течение дальнейших семидесяти лет была постепенно заменена системой «Метр-

Килограмм-Секунда». Обе системы использовали одну и ту же секунду в качестве базовой единицы. МКС получила международное применение в 1940-х годах и определяла секунду как *1/86400 средних солнечных суток*.

В 1956 году определение секунды было скорректировано и привязано к понятию «года» (период обращения Земли вокруг Солнца), взятого для определённой эпохи, поскольку к тому времени стало известно, что вращение Земли вокруг своей оси не может быть использовано в качестве достаточно надёжного основания, в виду того, что это вращение замедляется, а также подвержено нерегулярным скачкам.

С изобретением атомных часов в начале 1960-х, было решено использовать международное атомное время как основу для определения секунды взамен обращения Земли вокруг Солнца. Основной принцип квантовой механики — это неразличимость частиц. Таким образом, пока мы не учитываем внешних воздействий, строение всех атомов данного изотопа полностью идентично. Поэтому они представляют собой идеальные механизмы, которые воспроизводятся по желанию исследователя с точностью, ограниченной лишь степенью влияния внешних воздействий. Поэтому развитие часов — хранителей времени, привело к тому, что точность шкалы времени, реализуемой атомными часами, превысила точность астрономического определения, которое к тому же страдало от невозможности точной воспроизводимости эталона секунды. Поэтому было решено перейти к реализации секунды на основе атомных часов, взяв за основу какой-то переход в атомах, слабо подверженных внешнему воздействию. После обсуждения было решено взять атомы цезия, обладающие дополнительно тем достоинством, что цезий имеет только один стабильный изотоп. В 1967 году XIII Генеральная конференция по мерам и весам определила секунду атомного времени как:

«Секунда есть время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.»



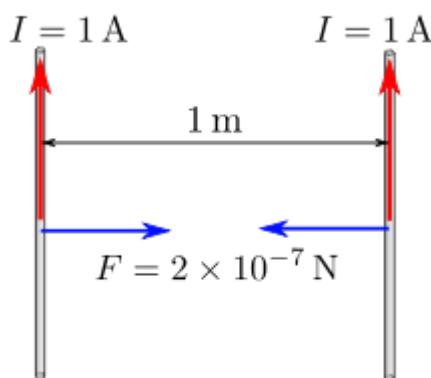
FOCS 1, атомные часы в Швейцарии с погрешностью 10–15 , то есть не более секунды за 30 миллионов лет

В течение 1970-х годов было обнаружено, что гравитационное замедление времени влияет на секунды, отсчитываемые атомными часами, в зависимости от их возвышения над поверхностью Земли. Универсальная секунда была получена путём корректировки значений каждого атомных часов приведением их к среднему уровню моря, удлиняя таким образом секунду примерно на $1 \cdot 10^{-10}$. Эта корректировка была проведена в 1977 году и узаконена в 1980 году. В терминах теории относительности секунда Международного атомного времени определена как собственное время на вращающемся геоиде. Позднее, в 1997 году, на совещании Международного бюро мер и весов определение секунды было уточнено с добавлением следующего определения:

«Это определение относится к атому цезия, не возмущённому внешними полями при температуре 0 K.»

Пересмотренное утверждение подразумевает, что идеальные атомные часы содержат один атом цезия в покое, испускающий волну постоянной частоты.

4) **Ампер** есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 метр один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 метр силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ ньютона.



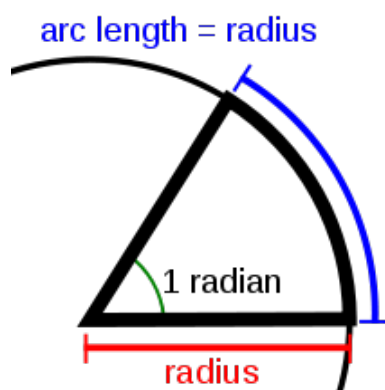
5) **Кельвин** равен $1/273,16$ части термодинамической температуры, так называемой тройной точки воды; *Тройная точка воды* – строго определенные значения температуры и давления, при которых вода может одновременно и равновесно существовать в виде трёх фаз – в твердом, жидком и газообразном состояниях. Тройная точка воды – температура 273,16 K и давление 611,657 Па.

Недостатком современного определения кельвина является то, что при практической реализации величина кельвина оказывается зависящей от чистоты и изотопного состава используемой воды. Исходя из стремления устранить этот недостаток, XXIV Генеральная конференция по мерам и весам, состоявшаяся 17–21 октября 2011 года, приняла резолюцию, в которой, в частности, предложено в будущей ревизии Международной системы единиц переопределить кельвин, связав его величину со значением постоянной Больцмана. При этом предполагается, что значение постоянной Больцмана будет зафиксировано, т. е. будет считаться определённым точно.

6) **Моль** равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг. Углерод-12 – нуклид химического элемента углерода с атомным номером 6. Один из двух стабильных изотопов углерода.

7) **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 Ватт/ Стередиан.

8) Единица плоского угла – это **радиан**, или сокращенно рад, представляющий собой угол между двух радиусов окружности, длина дуги между которыми равняется радиусу окружности. Если речь идет о градусах, то радиан равен $57^{\circ}17'48''$. Величина полного угла равна 2π радиан.



9) **Стередиан**, или «ср», принимаемый за единицу телесного угла – телесный угол, расположение вершины которого фиксируется в центре сферы, а площадь, вырезаемая данным углом на поверхности сферы, равна площади квадрата, сторона которого равна длине радиуса сферы. Или по другому: стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы радиусом r , вырезающему из сферы поверхность площадью r^2 .

