

Метрология

Алфёрова Екатерина Александровна
к.ф.-м.н., доцент кафедры «Технология машиностроения»

Метрология (от греч. "метро" - мера и "логос" - учение) - это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения единства и требуемой точности измерений.

Теоретическая метрология

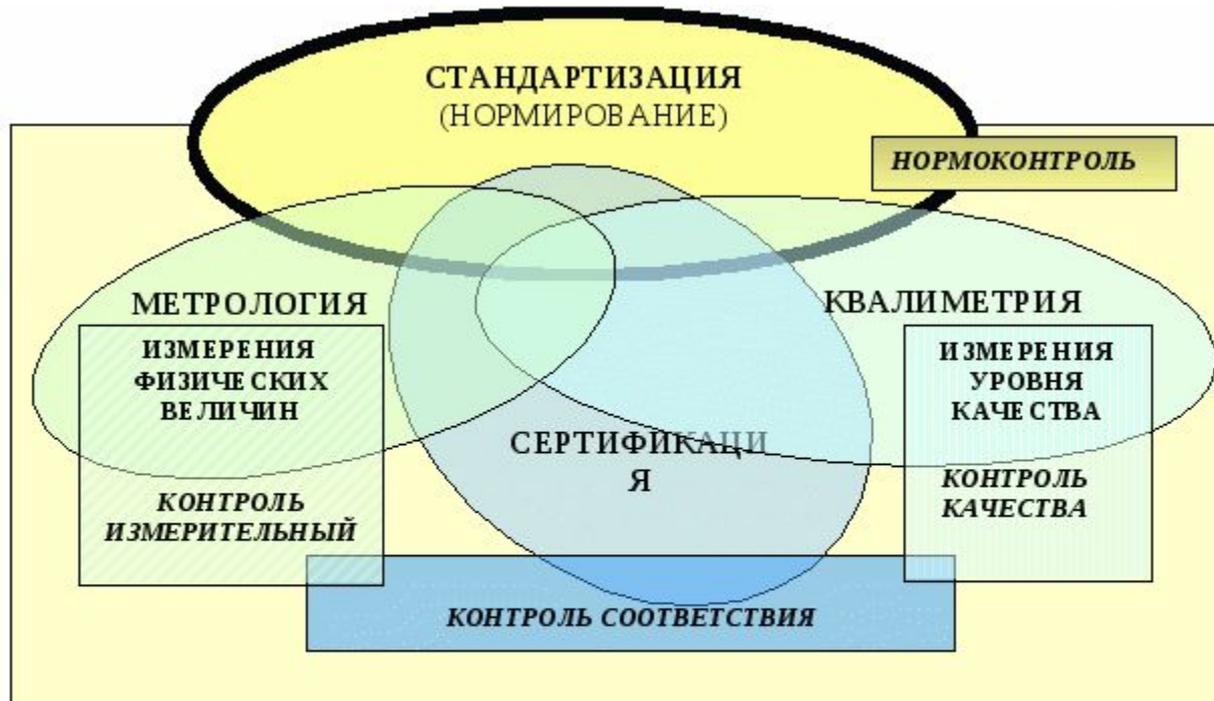
занимается вопросами фундаментальных исследований, созданием системы единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерения

Прикладная метрология

занимается вопросами практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований в рамках метрологии

Законодательная метрология

включает совокупность взаимообусловленных правил и норм, направленных на обеспечение единства измерений, которые возводятся в ранг правовых положений и имеют обязательную силу и находятся под охраной государства.



Метрология имеет большое значение для прогресса в области конструирования, производства, естественных и технических наук.

Значительное повышение точности измерений неоднократно являлось основной предпосылкой фундаментальных научных открытий.

Повышение точности измерения плотности воды в 1932 г. привело к открытию тяжелого изотопа водорода - дейтерия, определившего бурное развитие атомной энергетики.

Велико значение метрологии для всех отраслей промышленности, для решения задач по повышению эффективности производства и качества продукции.

Доля затрат на измерительную технику составляет около 15 % всех затрат на оборудование в машиностроении и приблизительно 25 % в радиоэлектронике.

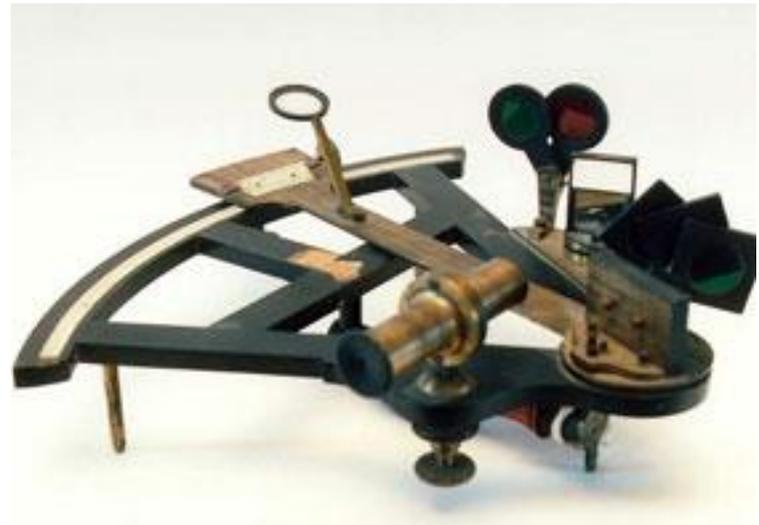
Современное развитие конструкторской мысли и технологий всех отраслей производства свидетельствуют об органической связи их с метрологией. Для обеспечения научно-технического прогресса метрология должна опережать в своем развитии другие области науки и техники, ибо для каждой из них точные измерения являются одним из основных путей их совершенствования.

Предмет метрологии - извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью.

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

Объекты метрологии:

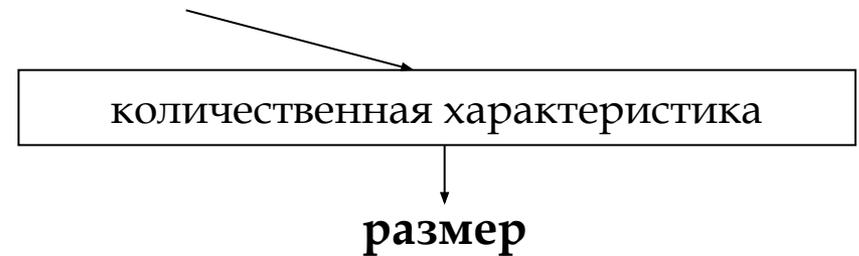
- измеряемая (в том числе физическая) величина;
- единица физической величины;
- измерение;
- погрешность измерений;
- метод измерений;
- средство измерений.



Физические величины (ФВ)

Физической величиной называют одно из свойств физического объекта (явления, процесса), которое является общим в качественном отношении для многих физических объектов, отличаясь при этом количественным значением.

Физическая величина



обозначение - символ **dim**

Размерность основных величин:

- длины **dim $l = L$,**
- массы **dim $m = M$,**
- времени **dim $t = T$.**

Размерность производных величин:

$$\mathbf{dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma \dots,}$$

где $dim Q$ - размерность какой-либо физической величины Q ; $L, M, T \dots$ - размерности основных физических величин; $\alpha, \beta, \gamma \dots$ - показатели размерности. Каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулем.

значение величины получают в результате ее измерения или вычисления в соответствии с

основным уравнением измерения:

$$Q = X [Q],$$

где Q - значение величины; X - числовое значение измеряемой величины в принятой единице; $[Q]$ - выбранная для измерения единица.

Измерение физических величин - совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу ФВ, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ - технические устройства, предназначенные для измерений и имеющие нормированные метрологические характеристики



Классификация СИ (по функциональному назначению)

- СИ, предназначенное для воспроизведения или хранения физической величины заданного размера.

меры

измерительные приборы

измерительные преобразователи

измерительные установки

измерительные системы

- СИ, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем

- СИ, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

- совокупность функционально объединенных СИ и вспомогательных устройств, предназначенных для измерения одной или нескольких ФВ и расположенных в одном месте.

- совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных 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.

Классификация СИ (по метрологическому назначению)

Эталоны

Рабочие СИ

- средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

Эталон единицы
физической величины
(эталон):

- средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Рабочий эталон

- эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений

Виды и методы измерений

Метод измерений - совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Существует различные **виды измерений**. Классификацию видов измерения проводят, исходя из характера зависимости измеряемой величины от времени, вида уравнения измерений, условий, определяющих точность результата измерений и способов выражения этих результатов.



Разновидности измерений

от способа
получения

по числу
измерений

по характеристике
точности

по отношению к
изменению
измеряемой
величины

• **прямые**

(измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно)

• **косвенные**

(определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной)

• **совокупные**

(производимые одновременно измерения нескольких одноименных (однородных) величин, при которых искомые значения величин определяют путём решения системы уравнений, получаемых при измерении этих величин в различных сочетаниях)

• **совместные**

(производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними. Результат измерений получают путем решения системы уравнений)

• **однократные**

(измерение, выполненное один раз)

• **многократные**

(измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений)

• **равноточные**

(ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений и в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью)

• **неравноточные**

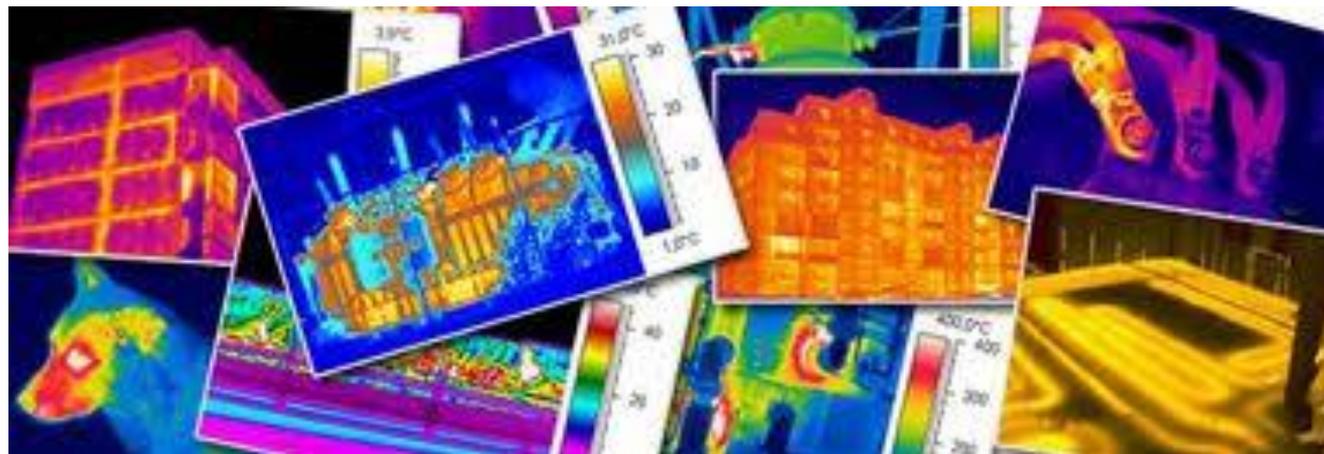
(ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях)

• **статические**

(измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения)

• **динамические**

(измерение изменяющейся по размеру физической величины, для получения результата измерения которой необходимо учитывать это изменение)

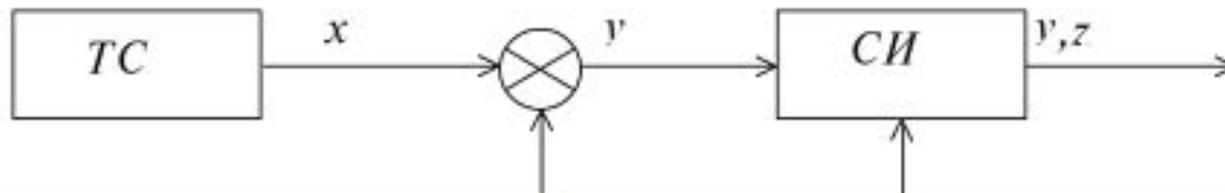


Модель измерения и основные постулаты метрологии

Модель измерения может быть описана функциональной зависимостью изменения выходного сигнала y от изменения входного сигнала x , как $y=f(x)$

В процессе измерения возникают различные внешние и внутренние помехи z_i, z_j . Каждая из составляющих имеет свою плотность вероятности $f(x), f(y), f(z)$. Поэтому при многократном измерении одной и той же величины одним и тем же СИ в одинаковых условиях результаты измерений отличаются и не совпадают с истинным значением физической величины X

$$y_1 \neq y_2 \neq \dots \neq X$$



- Истинное значение определяемой величины существует, **и** оно постоянно.
- Истинное значение измеряемой величины отыскать невозможно. Отсюда следует, что результат **измерения** y , как правило, математически связан с измеряемой величиной вероятностной зависимостью.

Значения физических величин

(в зависимости от степени приближения к объективности)



Истинное значение физической величины - это значение, идеально отражающее в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Из-за несовершенства средств и методов измерений истинные значения величин практически получить нельзя. Их можно представить только теоретически. А значения величины, полученные при измерении, лишь в большей или меньшей степени приближаются к истинному значению.

Действительное значение физической величины - это значение величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

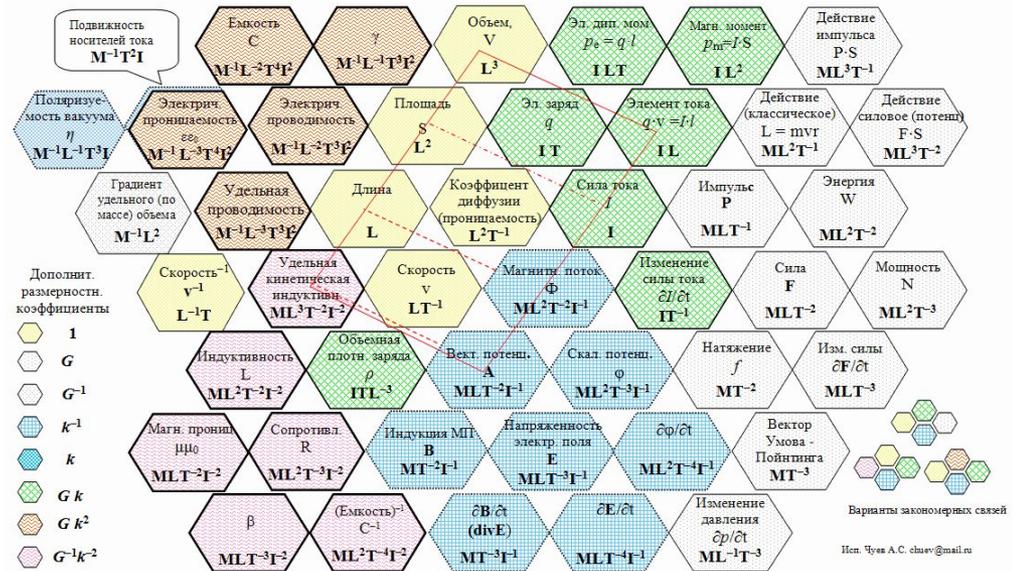
Международная система единиц (SI),

В 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам Международной организации мер и весов (МОМВ) была принята **Международная система единиц (SI)**, которая в России применяется с 1 января 1963 г.

Достоинства системы SI:

- универсальность – охват всех областей науки и техники;
- унификация единиц для всех областей и видов измерений (механических, тепловых, электрических, магнитных и т. д.);
- когерентность единиц – все производные единицы SI получаются из уравнений связи между величинами, в которых коэффициенты равны единице;
- возможность воспроизведения единиц с высокой точностью в соответствии с их определениями;
- упрощение записи уравнений и формул в физике, химии, а также в технических расчетах в связи с отсутствием переводных коэффициентов;
- уменьшение числа допускаемых единиц;
- единая система образования кратных и дольных единиц, имеющих собственные наименования.

Системные взаимосвязи удельной кинетической индуктивности (с размерностью из трех родов массы $ML^3T^{-2}I^{-2}$)



Международная система единиц (SI)

Основные величины и основные единицы физических величин

Величина			Единица величины		
наименование	обозначение	размерность (символ)	наименование	обозначение	
				русское	международное
Длина	l	L	метр	м	m
Масса	m	M	килограмм	кг	kg
Время	t	T	секунда	с	s
Сила электрического тока	i	I	ампер	A	A
Термодинамическая температура	T	θ	кельвин	K	K
Сила света	J	J	кандела	кд	kd
Количество вещества	n	N	моль	моль	mol

Производные величины и производные единицы

Величина			Единица величины		
наименование	обозначение	размерность	наименование	обозначение	выражение производной единицы через основные
Сила	F	LMT^{-2}	ньютон	Н	$м \cdot кг \cdot c^{-2}$
Давление	P	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Па	$м^{-1} \cdot кг \cdot c^{-2}$
Работа	A	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-2}$
Мощность	N	L^2MT^{-3}	ватт	Вт	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-3}$

Числовые значения физических величин изменяются в значительных пределах. Поэтому для удобства практических измерений наряду с основными и производными единицами, называемыми *главными*, введены также *кратные* и *дольные* единицы, которые обычно находятся в декадном отношении к главной единице.

Приставки для образования кратных и дольных единиц

Кратные единицы			Дольные единицы		
Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение	Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение
10^{12}	терра	T	10^{-2}	санци	с
10^9	гига	G	10^{-3}	милли	м
10^6	мега	M	10^{-6}	микро	мк
10^3	кило	k	10^{-9}	нано	н
10^2	гекто	г	10^{-12}	пико	п
10^1	дека	да	10^{-15}	фемто	ф
10^{-1}	деци	д	10^{-18}	атто	а

Метрологическими характеристиками, согласно [ГОСТ 8.009-84](#), называются технические характеристики, описывающие эти свойства и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений, предназначенные для оценки технического уровня и качества средства измерений, для определения результатов измерений и расчетной оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерений.

Характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называются **нормируемыми**, а определяемые экспериментально — **действительными**.

Все метрологические свойства СИ можно разделить на две группы:

- свойства, определяющие **область применения СИ** (диапазон измерений и порог чувствительности);
- свойства, **определяющие точность** (правильность и прецизионность результатов измерения).

Свойства, определяющие область применения СИ

Диапазон измерений — область значений величины, в пределах которых нормированы допускаемые пределы погрешности. Значения величины, ограничивающие диапазон измерений снизу или сверху (слева и справа), называют соответственно нижним или верхним пределом измерений.

Порог чувствительности — наименьшее изменение измеряемой величины, которое вызывает заметное изменение выходного сигнала. Например, если порог чувствительности весов равен 10 мг, то это означает, что заметное перемещение стрелки весов достигается при таком малом изменении массы, как 10 мг.

Свойства, определяющие точность

Точность измерений СИ определяется их погрешностью.

Погрешность средства измерений — это разность между показаниями СИ и истинным (действительным) значением измеряемой величины. Поскольку истинное значение физической величины неизвестно, то на практике пользуются ее действительным значением.