

МЕТРОЛОГИЯ И ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Лекция 1. Общие вопросы метрологии. Понятие физической величины

Лукша Сергей Сергеевич
доцент кафедры ИИБМТ

Назначение и область дисциплины

Метрология (от греч. μέτρον «мера» + λόγος «мысль; причина») — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов с заданной точностью и достоверностью; нормативная база для этого — метрологические стандарты.

Три раздела метрологии:

- *Теоретическая или фундаментальная* — рассматривает общие теоретические проблемы (разработка теории и проблем измерений физических величин, их единиц, методов измерений).
- *Прикладная* — изучает вопросы практического применения разработок теоретической метрологии. В её ведении находятся все вопросы метрологического обеспечения.
- *Законодательная* — устанавливает обязательные технические и юридические требования по применению единиц физической величины, методов и средств измерений.

Цели метрологии

- создание общей теории измерений;
- образование единиц физических величин и систем единиц;
- разработка и стандартизация методов и средств измерений, методов определения точности измерений, основ обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений (законодательная метрология);
- создание эталонов и образцовых средств измерений, поверка мер и средств измерений. Приоритетной подзадачей данного направления является выработка системы эталонов на основе физических констант.

Понятие физической величины

- Физическая величина — это свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Пример: «сила тока» как физическая величина в качественном отношении является характеристикой различных радиоэлектронных изделий. Вместе с тем количественное значение силы тока, протекающего по цепям каждого изделия, может быть различным.

- Размер физической величины — это некоторое количественное содержание физической величины, присущее конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу. Истинный размер физической величины существует объективно, независимо от того, знаем мы его или нет (например, сопротивление конкретного проводника или ток в конкретной электрической цепи).
- Значение физической величины — это количественная оценка размера физической величины, представленная в виде некоторого числа принятых для нее единиц (например, значение сопротивления проводника 5 Ом или значение силы тока 8 А).

Различают истинное значение физической величины, идеально отражающее свойство объекта, действительное, найденное экспериментально, достаточно близкое к истинному значению, которое можно использовать вместо него, и измеренное значение, отсчитанное по отсчетному устройству средства измерения.

Основные и производные физические величины

- Совокупность величин, связанных между собой зависимостями, образуют систему физических величин, в которой имеются основные и производные величины.
- Основная физическая величина — это величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.
- Производная физическая величина — это величина, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы.

Единица физической величины

Единица физической величины— это конкретная физическая величина, определенная и принятая по соглашению, с которой сравниваются другие величины того же рода.

Чтобы избежать произвола в результатах измерений, т.е. обеспечить единство измерений, единицы физических величин устанавливаются по определенным правилам и закрепляются законодательным путем. Исторически сложилось так, что единицы физических величин объединяются в системы. Система единиц физических величин — это совокупность основных и производных единиц, относящихся к некоторой системе величин, образованная в соответствии с принятыми принципами. В России в установленном порядке допускаются к применению единицы величин Международной системы единиц (СИ), принятой Генеральной конференцией по мерам и весам, рекомендованные Международной организацией законодательной метрологии.

Основные единицы физической величины

Основная единица системы единиц — единица основной физической величины, выбранная при построении системы единиц.

Метр — длина пути, проходимая светом в вакууме за интервал времени $1/299792458$ доли секунды.

Килограмм — единица массы, равная массе международного прототипа килограмма.

Секунда — время, равное 9192631770 периодам излучения, соответствующим переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома Цезия-133.

Ампер — 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 м один от другого, вызывал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Кельвин — единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды.

Моль — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг.

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

Предусмотрены также две дополнительные единицы.

Радиан — угол между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу.

Стерadian — телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Производные и внесистемные единицы физической величины

Производная единица системы единиц — единица производной физической величины системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами или же с основными и уже определенными производными.

Например, единица мощности, выраженная через единицы СИ, $1 \text{ Вт} = \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$.

Наряду с единицами СИ Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» допускает применение внесистемных единиц, т.е. единиц, не входящих ни в одну из существующих систем.

Принято выделять несколько видов внесистемных единиц:

- единицы, допускаемые наравне с единицами СИ (минута, час, сутки, литр и др.);
- единицы, применяемые в специальных областях науки и техники (световой год, парсек, диоптрия, электрон-вольт и др.);
- единицы, изъятые из употребления (миллиметр ртутного столба, лошадиная сила и др.).

К числу внесистемных относят также кратные и дольные единицы измерения, имеющие иногда собственные наименования, например единица массы — тонна (т).

Размерность физической величины

Размерность физической величины (англ. *dimension*, сокращённо *dim*) — это выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным единице.

Конкретная размерность производных величин определяется на основе соответствующих уравнений физики.

Пример: мощность — физическая величина (P), характеризующая скорость совершения работы A за интервал времени t : $P = A / t$. Учитывая, что работа A равна произведению силы F на элементарное перемещение l ($A = Fl$), а сила $F = ma$, где m — масса, a — ускорение ($\dim a = l / t^2$), получаем

$$P = \frac{ml^2}{t^3}, \quad \dim P = L^2MT^{-3}.$$

Большинство физических величин являются размерными, т.е. такими, в размерностях которых хотя бы одна из основных величин возведена в степень с показателем, не равным нулю.

Величина называется безразмерной, если в ее размерность входят основные величины в степени с показателем, равным нулю. Безразмерные (относительные) величины представляют собой отношение данной физической величины к одноименной, применяемой в качестве исходной (например, коэффициент трансформации).

Дополнительные характеристики физических величин

Физические величины в зависимости от множества размеров, которые они могут иметь при изменении в ограниченном диапазоне, подразделяют на:

- непрерывные (аналоговые) – может иметь в заданном диапазоне бесконечное множество размеров;
- квантованные (дискретные) – имеет в заданном диапазоне только счетное множество размеров.

Физические величины могут быть

- постоянными при измерении которой во времени достаточно определить одно ее мгновенное значение;
- переменными, которые могут иметь квазидетерминированный или случайный характер изменения.

Квазидетерминированная физическая величина — это величина, для которой известен вид зависимости от времени, но не известен измеряемый параметр этой зависимости.

Случайная физическая величина — величина, размер которой изменяется во времени случайным образом.

Активные величины (например, ЭДС источника электрического тока) способны без вспомогательных источников энергии создавать сигналы измерительной информации.

Пассивные величины (например, электрическое сопротивление) сами не могут создавать сигналы измерительной информации. Для этого их нужно активизировать с помощью вспомогательных источников энергии.

Кратные единицы физической величины

Кратные единицы — единицы, которые в целое число раз (10 в степени) превышают основную единицу измерения некоторой физической величины.

Десятичный множитель	Приставка		Обозначение		Пример
	русская	международная	русское	международное	
10^1	дека	deca	да	da	дал — декалитр
10^2	гекто	hecto	г	h	гПа — гектопаскаль
10^3	кило	kilo	к	k	кН — килоньютон
10^6	мега	mega	М	M	МПа — мегапаскаль
10^9	гига	giga	Г	G	ГГц — гигагерц
10^{12}	тера	tera	Т	T	ТВ — теравольт
10^{15}	пета	peta	П	P	Пфлопс — петафлопс
10^{18}	экса	exa	Э	E	Эм — эксаметр
10^{21}	зетта	zetta	З	Z	ЗэВ — зеттаэлектронвольт
10^{24}	иотта	yotta	И	Y	Иг — иоттаграмм

Дольные единицы физической величины

Дольные единицы составляют определённую долю (часть) от установленной единицы измерения некоторой величины.

Десятичный множитель	Приставка		Обозначение		Пример
	русская	международная	русское	международное	
10^{-1}	деци	deci	д	d	дм — дециметр
10^{-2}	санти	centi	с	c	см — сантиметр
10^{-3}	милли	milli	м	m	мН — миллиньютон
10^{-6}	микро	micro	мк	μ	мкм — микрометр
10^{-9}	нано	nano	н	n	нм — нанометр
10^{-12}	пико	pico	п	p	пФ — пикофарад
10^{-15}	фемто	femto	ф	f	фл — фемтолитр
10^{-18}	атто	atto	а	a	ас — аттосекунда
10^{-21}	зепто	zepto	з	z	зКл — зептокулон
10^{-24}	иокто	yocto	и	y	иг — иоктограмм

Двоичные приставки

Двоичные приставки — приставки перед наименованиями или обозначениями единиц измерения информации, применяемые для формирования кратных единиц, отличающихся от базовой единицы в определённое целое, являющееся целой положительной степенью числа 2^{10} , число раз. Двоичные приставки используются для образования единиц измерения информации, кратных битам и байтам.

Приставка	Аналогичная десятичная приставка	Сокращения по МЭК для битов, байтов	Множитель
киби	кило (10^3)	Кибит, КиБ	$2^{10} = 1024$
меби	мега (10^6)	Мибит, МиБ	$2^{20} = 1\,048\,576$
гиби	гига (10^9)	Гибит, ГиБ	$2^{30} = 1\,073\,741\,824$
теби	тера (10^{12})	Тибит, ТиБ	$2^{40} = 1\,099\,511\,627\,776$
пеби	пета (10^{15})	Пибит, ПиБ	$2^{50} = 1\,125\,899\,906\,842\,624$
эксби	экса (10^{18})	Эибит, ЭиБ	$2^{60} = 1\,152\,921\,504\,606\,846\,976$
зеби	зетта (10^{21})	Зибит, ЗиБ	$2^{70} = 1\,180\,591\,620\,717\,411\,303\,424$
йоби	йотта (10^{24})	Йибит, ЙиБ	$2^{80} = 1\,208\,925\,819\,614\,629\,174\,706\,176$

Двоичные приставки с их десятичными аналогами

Приставка	Обозначение	Двоичные приставки	Десятичные приставки	Относит. ошибка, %
кило	к, k	$2^{10} = 1024$	$10^3 = 1000$	2,40
мега	М, M	$2^{20} = 1\,048\,576$	$10^6 = 1\,000\,000$	4,86
гига	Г, G	$2^{30} = 1\,073\,741\,824$	$10^9 = 1\,000\,000\,000$	7,37
тера	Т, T	$2^{40} = 1\,099\,511\,627\,776$	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$	9,95
пета	П, P	$2^{50} = 1\,125\,899\,906\,842\,624$	$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$	12,59
экса	Э, E	$2^{60} = 1\,152\,921\,504\,606\,846\,976$	$10^{18} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000$	15,29
зетта	З, Z	$2^{70} = 1\,180\,591\,620\,717\,411\,303\,424$	$10^{21} =$ $=1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$	18,06
йотта	Й, Y	$2^{80} =$ $=1\,208\,925\,819\,614\,629\,174\,706\,176$	$10^{24} =$ $=1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$	20,89

Двоичные приставки. Применимость

Основные случаи применения двоичных приставок:

- в файловых менеджерах и другом программном обеспечении для сокращённого задания размера файлов. Однако в некоторых современных файловых менеджерах встречается правильное указание размера файлов (с использованием сокращённой формы производных двоичных приставок, например «КиБ»);
- производителями полупроводниковой памяти: оперативных запоминающих устройств (ОЗУ), видеопамяти;
- объём компакт-диска (но не DVD) задаётся именно в двоичных мегабайтах;
- «Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации» устанавливает, что наименование и обозначение единицы количества информации «байт» применяются с двоичными приставками «Кило», «Мега» и «Гига», которые соответствуют множителям 2^{10} , 2^{20} и 2^{30} ;

Основные случаи применения десятичных приставок:

- ёмкость жёстких и оптических дисков (исключение: компакт-диски, их объём задается в двоичных мегабайтах);
- Ёмкость flash-карт памяти, USB flash-накопителей и SSD-накопителей;
- при неформальном общении (например, про файл в 100 тысяч байт могут сказать «файл в 100 килобайт»);
- при обозначении скоростей телекоммуникационных соединений, например, 100 Мбит/с в стандарте 100BASE-TX соответствует скорости передачи именно 100 000 000 бит/с, а 10 Гбит/с в стандарте 10GBASE-X (Ten Gigabit Ethernet) — 10 000 000 000 бит/с;