

ЛЕКЦИЯ №2

Общие вопросы основ метрологии и измерительной техники

В практической жизни человек всюду имеет дело с измерениями. На каждом шагу встречаются измерения таких величин, как длина, объем, вес, время и др.

Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая человеку действующие в природе закономерности. Все отрасли техники не могли бы существовать без развернутой системы измерений, определяющих как все технологические процессы, контроль и управление ими, так и свойства и качество выпускаемой продукции.

Отраслью науки, изучающей измерения, является метрология. 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 наукой о различных мерах и соотношениях между ними. С конца 19-го века благодаря прогрессу физических наук метрология получила существенное развитие. Большую роль в становлении современной метрологии как одной из наук физического цикла сыграл Д. И. Менделеев, руководивший отечественной метрологией в период 1892 - 1907 гг.

В соответствии с ГОСТ 16263-70 «Метрология. Термины и определения»: Метрология – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Одна из главных задач метрологии — обеспечение единства измерений — может быть решена при соблюдении двух условий, которые можно назвать основополагающими:

- выражение результатов измерений в единых узаконенных единицах;
- установление допустимых ошибок (погрешностей) результатов измерений и пределов, за которые они не должны выходить при заданной вероятности.

Погрешностью называют отклонение результата измерений от действительного (истинного) значения измеряемой величины. При этом следует иметь в виду, что истинное значение физической величины считается неизвестным и применяется в теоретических исследованиях; действительное значение физической величины устанавливается экспериментальным путем в предположении, что результат эксперимента (измерения) в максимальной степени приближается к истинному значению.

Погрешности измерений приводятся обычно в технической документации на средства измерений или в нормативных документах. Правда, если учесть, что погрешность зависит еще и от условий, в которых проводится само измерение, от экспериментальной ошибки методики и субъективных особенностей человека в случаях, где он непосредственно участвует в измерениях, то можно говорить о нескольких составляющих погрешности измерений либо о суммарной погрешности.

Единство измерений - такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Единство измерений необходимо для того, чтобы можно было сопоставить результаты измерений, выполненных в разных местах, в разное время, с использованием разных методов и средств измерений.

Единство измерений, однако, не может быть обеспечено лишь совпадением погрешностей. Требуется еще и *достоверность измерений*, которая говорит о том, что погрешность не выходит за пределы отклонений, заданных в соответствии с поставленной целью измерений. Есть еще и понятие *точности измерений*, которое характеризует степень приближения погрешности измерений к нулю, т.е. полученного при измерении значения к истинному значению измеряемой величины.

Точность измерений характеризуется близостью их результатов к истинному значению измеряемой величины. Точность – величина, обратная погрешности (о ней речь пойдет ниже).

Измерительная техника – это практическая, прикладная область метрологии.

Измеряемыми величинами, с которыми имеет дело метрология, являются физические величины, т. е. величины, входящие в уравнения опытных наук (физика, химия и др.), занимающихся познанием мира эмпирическим (т. е. опытным) путем.

Метрология проникает во все науки и дисциплины, имеющие дело с измерениями, и является для них единой наукой.

Основные понятия, которыми оперирует метрология, следующие:

- физическая величина;
- единица физической величины;
- система единиц физических величин;
- размер единицы физической величины (передача размера единицы физической величины);
- средства измерений физической величины;
- эталон;
- образцовое средство измерений;
- рабочее средство измерений;
- измерение физической величины;
- метод измерений;
- результат измерений;
- погрешность измерений;
- метрологическая служба;
- метрологическое обеспечение и т. д.

Дадим определения некоторым основным понятиям:

Физическая величина – характеристика одного из свойств физического объекта (явления или процесса), общая в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта (т. е. значение физической величины может быть для одного

объекта в определенное число раз больше или меньше, чем для другого). Например»: длина, время, сила электрического тока.

Единица физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение равное 1, и применяемое для количественного выражения однородных физических величин. Например: 1 м – единица длины, 1 с – времени, 1А – силы электрического тока.

Система единиц физических величин – совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами для заданной системы физических величин. Например: Международная система единиц (СИ), принятая в 1960 г.

В системе единиц физических величин выделяют основные единицы системы единиц (в СИ – метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин). Из сочетания основных единиц образуются производные единицы (скорости - м/с, плотности – кг/м³).

Путем добавления к основным единицам установленных приставок, образуются кратные (например - километр) или дольные (например - микрометр) единицы.

Размер единицы физической величины – количественная определенность единицы физической величины, воспроизводимой или хранимой средством измерений. Размер основных единиц СИ устанавливается определением этих единиц Генеральными конференциями по мерам и весам (ГКМВ). Так, в соответствии с решением XIII ГКМВ, единица термодинамической температуры, кельвин, установлена равной 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды.

Воспроизведение единиц осуществляется национальными метрологическими лабораториями при помощи национальных эталонов. Отличие размера единицы, воспроизводимой национальным эталоном от размера единицы по определению ГКМВ устанавливается при международных сличениях эталонов.

Размер единицы, хранимой образцовым (ОСИ) или рабочим (РСИ) средствами измерений, может быть установлен по отношению к национальному первичному эталону. При этом может быть несколько ступеней сравнения (через вторичные эталоны и ОСИ).

Исторически первой системой единиц физических величин была принятая в 1791 г. Национальным собранием Франции метрическая система мер. Она не являлась еще системой единиц в современном понимании, а включала в себя единицы длин, площадей, объемов, вместимостей и веса, в основу которых были положены две единицы: метр и килограмм.

В 1832 г. немецкий математик К. Гаусс предложил методику построения системы единиц как совокупности основных и производных. Он построил систему единиц, в которой за основу были приняты три произвольные, независимые друг от друга единицы - длины, массы и времени. Все остальные единицы можно было определить с помощью этих трех. Такую систему единиц, связанных определенным образом с тремя основными, Гаусс назвал

абсолютной системой. За основные единицы он принял миллиметр, миллиграмм и секунду.

В дальнейшем с развитием науки и техники появился ряд систем единиц физических величин, построенных по принципу, предложенному Гауссом, базирующихся на метрической системе мер, но отличающихся друг от друга основными единицами.

Рассмотрим главнейшие системы единиц физических величин.

Система СГС. Система единиц физических величин СГС, в которой основными единицами являются сантиметр как единица длины, грамм как единица массы и секунда как единица времени, была установлена в 1881 г.

Система МКГСС. Применение килограмма как единицы веса, а в последующем как единицы силы вообще, привело в конце XIX века к формированию системы единиц физических величин с тремя основными единицами: метр - единица длины, килограмм-сила - единица силы и секунда - единица времени.

Система МКСА. Основы этой системы были предложены в 1901 г. итальянским ученым Джорджи. Основными единицами системы МКСА являются метр, килограмм, секунда и ампер.

Наличие ряда систем единиц физических величин, а также значительного числа внесистемных единиц, неудобства, связанные с пересчетом при переходе от одной системы единиц к другой, требовало унификации единиц измерений. Рост научно-технических и экономических связей между разными странами обуславливал необходимость такой унификации в международном масштабе.

Требовалась единая система единиц физических величин, практически удобная и охватывающая различные области измерений. При этом она должна была сохранить принцип когерентности (равенство единице коэффициента пропорциональности в уравнениях связи между физическими величинами).

В 1954 г. X Генеральная конференция по мерам и весам установила шесть основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела + моль).

11-я Генеральная конференция мер и весов в 1960 году утвердила международную систему единиц, обозначаемую SI (от начальных литер французского названия Systeme International d'Unites, на русском языке - СИ. В следующих годах Генеральная конференция приняла ряд дополнений и изменений, в результате которых в системе стало семь основных единиц, дополнительные и производные единицы физических величин, а также разработала следующее определение основных единиц:

- единица длины - метр - длина пути, которую проходит свет в вакууме за $1/299792458$ долю секунды;
- единица массы - килограмм - масса, которая равняется массе международного прототипа килограмма.
- единица времени - секунда - длительность 9192631770 периодов излучения, которое отвечает переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия - 133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей;

- единица силы электрического тока - ампер - сила неизменного тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и бесконечно малого кругового сечения, находящихся на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, создавал бы между этими проводниками силу, которая равняется $2 \cdot 10^{-7}$ на каждый метр длины;

- единица термодинамической температуры - Кельвин - $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды. Допускается также применение шкалы Цельсия;

- единица количества вещества - моль - количество вещества системы, коотрая содержит столько же структурных элементов, сколько атомов содержит нуклид углерода - 12, массой 0,012 кг;

- единица силы света - кандела - сила света в заданном направлении источника, который излучает монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила которого в этом направлении стекла дает $1/683$ Вт/ср'.

Приведенные определения сложные и требуют достаточного уровня знаний, в первую очередь в физике. Но они дают представление о природном происхождении принятых единиц, а толкование их осложнялось в меру развития науки и благодаря новым высоким достижениям теоретической и практической физики, механики, математики и других фундаментальных наук. Это дало возможность, с одной стороны, представить основные единицы как достоверные и точные, а с другой - как ясные и понятные для всех стран мира, что является главным условием для того, чтобы система единиц стала международной. Международная система СИ считается наиболее совершенной и универсальной в сравнении с предыдущими.

Кроме основных единиц в системе СИ имеются дополнительные единицы для измерения плоского и пространственного угла, - радиан и стерadian соответственно, а также большое количество производных единиц пространства и времени, механических величин, электрических и магнитных величин, тепловых, световых, акустических величин, а также ионизирующих излучений. После принятия Международной системы единиц ГКМВ практически все самые крупные международные организации включили ее в свои рекомендации по метрологии и призвали все страны - членов этих организаций принять ее. В Украине система СИ официально была принята в 1963 году путем введения соответствующего государственного стандарта, причем следует учесть, что в то время все государственные стандарты имели силу закона и были строго обязательными для выполнения. На сегодняшний день система СИ действительно стала международной, но вместе с тем применяются и несистемные единицы, например, тонна, сутки, литр, гектар и др.