**Тема «Физические величины и их единицы. Эталоны единиц физических величин»**

План:

1. Классификация единиц физических величин.

2. Эталоны единиц физических величин.

3. Перспективы развития эталонов.

**1. Классификация единиц физических величин**

Между единицами физических величин существует связь, обусловленная законами природы и выраженная физическими формулами.

Единицы большинства физических величин выражают через некоторое количество независимых друг от друга основных единиц. Совокупность выбранных основных и образованных производных единиц называется **системой единиц**.

В соответствии с рекомендациями ХI Генеральной конференции по мерам и весам в 1960 году принята Международная система единиц СИ, на основе которой для обязательного применения разработан ГОСТ 8.417-81.

Основные достоинства системы СИ:

- унифицированность – для каждой физической величины установлена одна единица измерения и четкая система образования кратных и дольных единиц от нее;

- универсальность – охват всех областей науки и техники;

- когерентность (согласованность) – производные единицы выражаются в виде степеней основных единиц без числовых коэффициентов;

- удобство принятых единиц для практического использования;

- естественный характер большинства единиц и высокая точность их воспроизведения.

В системе СИ установлены **семь основных единиц**, используя которые, можно измерять все механические, электрические, магнитные, акустические и световые параметры. **Основными единицами** в СИ являются: метр (м) – для измерения длины; килограмм (кг) – для измерения массы; секунда (с) – для измерения времени; ампер (А) – для измерения силы электрического тока; кельвин (К) – для измерения температуры; моль (моль) – для измерения количества веществ и кандела (кд) – для измерения силы света.

Кроме основных семи единиц, СИ устанавливает **дополнительные единицы**: радиан (рад) и стерадиан (ср) – для измерения плоского и телесного угла соответственно (табл.1).

Таблица 1 – Основные и дополнительные единицы системы СИ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Величина | | | Единица | | |
| Наименование | Размерность | Рекомендуемое обозначение | Наименование | русское | международное |
| **Основные** | | | | | |
| Длина | L | L | метр | м | m |
| Масса | M | m | килограмм | кг | kg |
| Время | T | t |  | c | s |
| Сила электрического тока | I | I | секунда | A | A |
| Термодинами-ческая температура | Q | T | кельвин | K | K |
| Количество вещества | N | n, v | моль | моль | mol |
| Сила света | J | J | кандела | кд | cd |
| **Дополнительные** | | | | | |
| Плоский угол | – | – | радиан | рад | rad |
| Телесный угол | – | – | стерадиан | ср | sr |

**Производные единицы СИ** получены из основных с помощью уравнений между физическими величинами. Например, единицу скорости образуют с помощью уравнения:

V=S/t (м/с), (1.1)

где S – расстояние, равное 1 метру (м);

t - время, равное 1 секунде (с).

Следовательно, единица скорости: м/с, единица силы Ньютон:1Н=1кг м с-2, единица давления Паскаль: 1Па=Н м2 и т.д. (табл. 2).

Таблица 2 – Производные единицы системы СИ, имеющие специальное название

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Величина | Единица | | |
| Наименование | Наименование | Обозначение | Выражение через единицы СИ |
| Частота | герц | Гц | с-1 |
| Сила, вес | ньютон | Н | м ˑ кг ˑ с-2 |
| Давление, механическое напряжение | паскаль | Па | м-1 ˑ кг ˑ с-2 |
| Энергия, работа, количество теплоты | джоуль | Дж | м2 ˑ кг ˑ с-2 |
| Мощность | ватт | Вт | м2 ˑ кг ˑ с-3 |
| Количество электричества | кулон | Кл | с ˑ А |
| Электрическое напряжение, потенциал, ЭДС | вольт | В | м2 ˑ кг ˑ с-3 ˑ А-1 |
| Электрическая емкость | фарад | Ф | м-2 ˑ кг-1 ˑ с4 ˑ А2 |
| Электрическое сопротивление | ом | Ом | м2 ˑ кг ˑ с-3 ˑ А-2 |
| Световой поток | люмен | лм | кд ˑ ср |
| Освещенность | люкс | лк | м-2 ˑ кд ˑ ср |

До настоящего времени в технике и быту широко распространены некоторые **внесистемные единицы**, не входящие в СИ. При разработке ГОСТ 8.417-81 было решено допустить к применению ряд подобных единиц:

*- допускаемые наравне с единицами СИ*, например: единица массы – тонна; времени – минута, час, сутки; плоского угла - градус, минута, секунда; объема – литр и др.;

*- допускаемые к применению в специальных областях,* например: астрономическая единица длины – парсек, световой год; единица оптической силы – диоптрия; единица энергии в физике – электрон-вольт и др.;

*- временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ,* например: морская миля – в морской навигации; карат – единица массы в ювелирном деле и др.;

*- изъятые из употребления,* например: миллиметр ртутного столба – единица давления; лошадиная сила – единица мощности и др.

Наряду с основными и производными единицами допускается использование **десятичных кратных и дольных единиц**, образованных умножением исходных единиц СИ на 10n, где n – целое число (положительное или отрицательное).

**Кратная единица** – эта единица физической величины, в целое число раз превышающая системную или внесистемную единицу.

Например, единица длины километр равна 103 м, т.е. кратна метру.

**Дольная единица** – единица ФВ, значение которой в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы. Например, единица длины миллиметр равна 10-3 м, т.е. является дольной.

В машиностроении применяются дольные линейные единицы:

миллиметр – 1мм=10-3м, микрометр (микрон) – 1мкм=10-6м. Приставки для образования кратных и дольных единиц приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Множитель | Приставка | Обозначение приставки | Множитель | Приставка | Обозначение приставки |
| 101 | дека | да | 10-1 | деци | д |
| 102 | гекто | г | 10-2 | санти | с |
| 103 | кило | к | 10-3 | милли | м |
| 106 | мега | М | 10-6 | микро | мк |
| 109 | гига | Г | 10-9 | нано | н |
| 1012 | тера | Т | 10-12 | пико | п |
| 1015 | пета | П | 10-15 | фемто | ф |
| 1018 | экса | Э | 10-18 | атто | а |

**2. Эталоны единиц физических величин**

**Эталон единицы** – средство измерения (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы величины с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерения и утвержденное в установленном порядке.

В России имеется в наличии 114 государственных эталонов и 250 вторичных эталонов единиц физических величин. Их них 52 находятся в Санкт-Петербурге (эталоны метра, килограмма, ампера, кельвина и радиана); 38 – в Москве (единицы времени, частоты, канделы); 5 – в Уральском научно-исследовательском институте метрологии; 6 – в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии. Рассмотрим эталоны основных единиц системы СИ.

**Метр** – расстояние, которое проходит свет в вакууме за 1/299 792 458 (скорость света) долю секунды. Данное определение метра было законодательно закреплено в декабре 1985 г. после утверждения единых эталонов времени, частоты.

**Килограмм** – масса международного прототипа килограмма, представляющего собой цилиндр из сплава платины и иридия. Эталон килограмма является единственным разрушаемым эталоном из всех эталонов основных единиц системы СИ.

**Секунда** – интервал времени, в течение которого совершается 9192631770 колебаний, соответствующих частоте энергетического перехода между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. Сверхтонкие уровни – расщепление уровней энергии атома на близко расположенные подуровни, вызванное взаимодействием магнитного момента ядра с магнитным полем атомных электронов.

Данный эталон основан на способности атомов излучать и поглощать энергию во время перехода между двумя энергетическими состояниями.

**Кельвин** – единица термодинамической температуры, равная 1/273,16 части температуры тройной точки воды. Тройная точка – точка, соответствующая равновесному сосуществованию трех фаз вещества (твердая, жидкая, газообразная).

**Ампер** – сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызывает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную 2 10-7Н.

**Кандела** – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 5401012 Гц, энергетическая сила, излучения которого в этом направлении составляет 1/683 Вт ˑ ср-1. Средний глаз человека имеет наибольшую чувствительность при длине волны около 0,555 мкм, что соответствует частоте 540 ˑ 1012Гц. Максимальная световая эффективность равна 683 Лм/Вт (люмен на ватт).

**Моль** – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится в углероде массой 0,0012 кг. Структурными элементами могут быть – атомы, молекулы, ионы, электроны и другие частицы.

**Радиан** – равен углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу.

**Стерадиан** – равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Как видно, приведенные определения довольно сложны и требуют достаточного уровня знаний по физике. Но они дают представление о природном, естественном происхождении принятых единиц и основаны на высоких достижениях теоретической и прикладной физики, механики, математики. Это дает возможность представить основные единицы как достоверные и точные, а также объяснимые и понятные для всех стран мира.

**3. Перспективы развития эталонов**

В связи с получением высоких показателей точности и надежности эталонов, построенных на использовании квантовых эффектов, в ближайшие годы ожидается создание новых эталонов. В частности, появился новый эталон ампера, использующий косвенный метод измерений (воспроизведения) единицы силы постоянного электрического тока как отношения единицы электрического напряжения к единице электрического сопротивления, воспроизводимых эталонами вольта (на основе квантового эффекта Джозефсона) и ома (на основе квантового эффекта Холла). Особенностью квантового эталона ампера является использование метода косвенного измерения, что ранее считалось невозможным при централизованном воспроизведении основных единиц физических величин, основанном на соответствующем определении основной единицы. Однако высокая степень неизменности погрешности воспроизведения единиц величин, получаемая с помощью «квантовых» эталонов и ограничиваемая в числе других причин точностью фундаментальных физических констант (в частности, заряда электрона и постоянной Планка), позволяет снять существовавшие ранее естественные ограничения.

Поэтому будут появляться эталоны, в том числе государственные, использующие для воспроизведения и хранения единиц производных величин квантовые эффекты. Фундаментальные физические константы с появлением новых методов и средств измерений уточняются. Например, проведенные совсем недавно измерения кванта магнитного потока (величина *h/2e,* имеющая размерность вебера), позволили уточнить суммарную погрешность до цифры 3 ˑ 10-7 (до 1986 г. она считалась равной 4 ˑ 10-6). Таким образом, соответственно будет возрастать точность квантовых эталонов. Способность воспроизводить единицу физической величины независимо от внешних условий, географического места, времени скоро позволит рассматривать квантовые эталоны как «вечные» меры.

Следует предвидеть принципиальный характер замены многих современных эталонов квантовыми, как тех, которые были рассмотрены, так и ряда других эталонов производных величин. Действительно, если вернуться к размерностям производных величин, то большинство их связано с основными величинами и единицами длины, массы, времени, силы электрического тока. Если удастся создать эталон массы на основе возможностей ядерной физики, то, очевидно, значительная часть эталонов будет представляться «вечными» мерами. При этом метрологическое обеспечение рабочих средств измерений, многие виды которых также будут основаны на применении квантовых эффектов, потеряют ту зависимость от процедуры поверки (калибровки), которая имеется в настоящее время. Это, прежде всего, во многих случаях позволит от централизованного способа поверки (калибровки), привязанного к государственным эталонам, перейти к децентрализованным способам, что обеспечит экономию значительных средств и времени, затрачиваемых на поверку (калибровку) в соответствии с «многоэтажной» поверочной схемой.