



Кубанский государственный университет

Буков Николай Николаевич

Общая теория измерений

**Эталоны физических величин
и поверочные схемы**

- **Эталоны единиц измерений.** Эталон единицы величины как основа для получения значения измеряемой величины. Система единиц SI: основные и дополнительные единицы, кратные и дольные единицы. Формирование единиц и размерностей производных единиц. Эталоны и стандартные образцы. Классификация измеряемых величин: детерминированные и случайные.

Эталоны физических величин и поверочные схемы.

Классификация эталонов.

Эталон единицы длины.

Эталон единицы времени и частоты.

Эталон единицы массы.

Эталон единицы силы тока.

Эталон единицы температуры.

Эталон единицы силы света.

Эталон телесного угла.

Поверочные схемы.

Методы передачи размера единицы физической величины.

Межповерочные интервалы.

ЭТАЛОНЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все средства измерения одной и той же физической величины. Это достигается путем точного воспроизведения и хранения установленных единиц физических величин и передачи их размеров применяемым средствам измерения. Воспроизведение, хранение и передача размеров единиц осуществляется с помощью **эталонов и образцовых средств измерения**. Высшим звеном в метрологической цепи передачи размеров единиц измерений являются **эталоны**.

Эталон представляет собой средство измерения (или комплекс средств измерения), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины (или одну из этих функций) с целью передачи размера единицы образцовым, а от них рабочим средствам измерения и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Если эталон воспроизводит единицу с наивысшей в стране точностью, он называется **первичным**. Первичные эталоны основных единиц воспроизводят единицу в соответствии с ее определением.

Для воспроизведения единиц в особых условиях, когда прямая передача размера единицы от существующих эталонов технически неосуществима с требуемой точностью (высокие и сверхвысокие частоты, энергии, давления, температуры, особые состояния вещества, крайние участки диапазонов измерений и тому подобное), создаются и утверждаются **специальные эталоны**. Специальный эталон воспроизводит единицу в особых условиях и заменяет в этих условиях первичный эталон.

Первичный, или специальный, эталон, официально утвержденный в качестве исходного для страны, называется государственным.

Государственные эталоны утверждаются Ростехрегулированием, и на каждый из них утверждается национальный стандарт.

Основное назначение эталонов — служить материально-технической базой воспроизведения и хранения единиц физических величин.

В метрологической практике широко распространены **вторичные эталоны**, значения которых устанавливаются по первичным эталонам.

Вторичные эталоны являются частью подчиненных средств хранения единиц и передачи их размера. Они создаются и утверждаются в тех случаях, когда это необходимо для организации поверочных работ и для обеспечения сохранности и наименьшего износа государственного эталона.

Краснодарский Центр стандартизации, метрологии и сертификации, ФГУ

Адрес: 350040, г. Краснодар, ул. Айвазовского, 104 а

Тел.: Тел. : **(861)233-72-97, 235-36-57**

<http://standart.kuban.ru/>

Государственные эталоны хранятся в метрологических институтах. Для проведения работ с государственными эталонами назначаются ответственные лица — ученые хранители эталонов. Вторичные эталоны используются в метрологических институтах и в других крупных органах Государственной метрологической службы.

Кроме национальных эталонов единиц физических величин существуют **международные эталоны**, которые хранятся в Международном бюро мер и весов. Программой деятельности этого бюро предусмотрены систематические сличения национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами и между собой.

rosstandart.info

<http://vniim.ru/catalog-etalon.html>

114 Государственных эталонов основных и производных физических величин

ВНИИМ располагает научно-исследовательской и опытно-экспериментальной научно-технической базой, уникальными зданиями и сооружениями национальной значимости, в том числе:

- [специальными корпусами](#), предназначенными для хранения и применения государственных эталонов России
- специальным лабораторным комплексом с наземным помехозащитным фундаментом массой 2500 тонн, подвешенным на пружинах
- немагнитным комплексом в пригородной зоне с минимальными уровнями естественных и техногенных электромагнитных помех
- и многим другим (**см. сайт**)



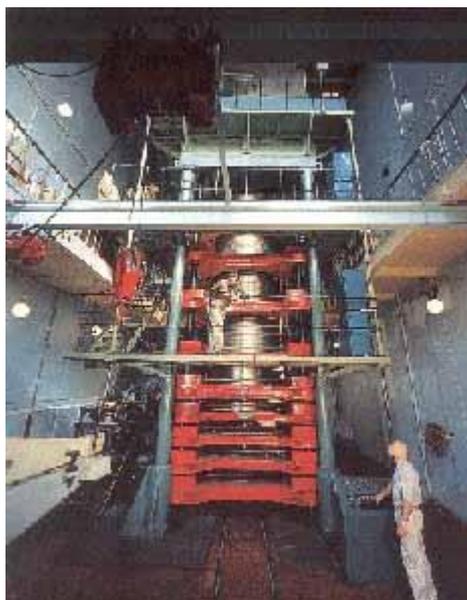
Государственный эталон единицы длины



Государственный эталон единицы массы



Государственный эталон единицы силы электрического тока



Государственный эталон единицы силы



Графитовый замедлитель, входящий в состав Государственного эталона единиц потока и плотности потока нейтронов

Эталоны, называемые международными, хранятся в Международном бюро мер и весов в Севре (Франция). По ним сверяют так называемые государственные первичные, или национальные эталоны, которые уже хранятся в главных метрологических организациях государств.



Современный эталон килограмма в Международном бюро мер и весов в Севре (Франция)



Вот так выглядит платиново-иридиевый эталон килограмма без защитных колпаков

Вот такой вот платиново-иридиевый цилиндр, хранящийся под тремя колпаками, и определяет, чему же будет равен один килограмм. Правда, в последнее время в СМИ прошли сообщения, что этот эталон слегка «похудел» и отличается по массе от всех(!) национальных эталонов. Вот ученые и гадают, к чему бы это. Даже целые конференции проводят.

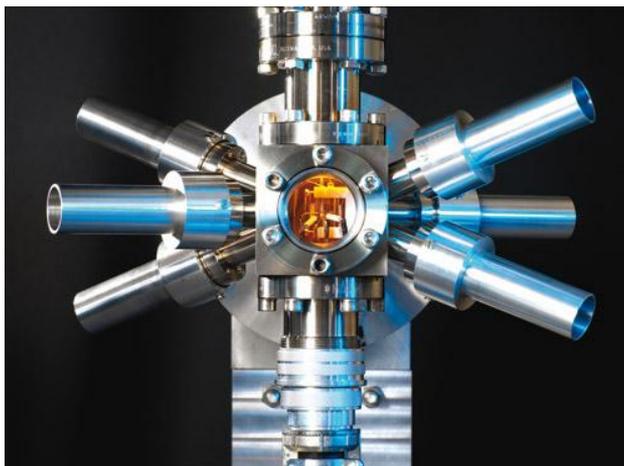
На основании последних международных сличений платино-иридиевая гиря, входящая в состав государственного эталона единицы массы, в России имела значение 1,000000087 кг (1979 г.)



Возможный преемник эталона килограмма - шар из определенного числа изотопов кремния-28



Предыдущий эталон метра - платиново-иридиевый брусок длиной один метр



Эталон секунды, основанный на переходах в нейтральных атомах стронция



Современный эталон метра - расстояние, которое проходит луч лазера за $1/299\,792\,458$ секунды



Государственный эталон силы, Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева в Санкт-Петербурге



Графитовый замедлитель, входящий в состав государственного эталона единиц потока и плотности потока нейтронов

В состав государственного первичного эталона единицы активности радионуклидов входит шесть эталонных установок

Краснодарский Центр стандартизации, метрологии и сертификации, ФГУ

Адрес: 350040, г. Краснодар, ул. Айвазовского, 104 а

Тел.: Тел. : (861)233-72-97, 235-36-57

**[Научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации
агропромышленной продукции ОАО](#)**

Краснодар, Постовая ул. 36

Краснодар, Октябрьская ул. 18

Эталон единицы физической величины

Measurement standard; Etalon

Эталон единицы физической величины - средство измерений или комплекс средств измерений:

- предназначенных для воспроизведения и хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений; и
- утвержденных в качестве эталона в установленном порядке.

Эталон должен обладать тремя свойствами: **неизменностью, восприимчивостью и сличаемостью.**

Воспроизведение единицы физической величины - совокупность операций по материализации единицы физической величины с наивысшей в стране точностью с помощью государственного эталона или исходного образцового средства измерений.

Воспроизводимость эталона - возможность воспроизведения единицы физической величины с наименьшей погрешностью для современного уровня развития измерительной техники.

Вторичный эталон - эталон, получивший размер единицы путем сличений с первичным эталоном рассматриваемой величины.

Государственный эталон - первичный или специальный эталон, официально утвержденный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного.

[http://www.glossary.ru/cgi-bin/gl_sch2.cgi?Rdygrut:!!koto.!\(ono,lxqo\)!ilro,ot](http://www.glossary.ru/cgi-bin/gl_sch2.cgi?Rdygrut:!!koto.!(ono,lxqo)!ilro,ot)

Некоторые современные государственные эталоны воспроизводят номинальное, кратное или дольное значение единицы измеряемой величины. Так, например, государственный эталон единицы электрического сопротивления воспроизводит 12906,4035 Ом; 6453,20175 Ом и 1,0 Ом. Цезиевый репер частоты воспроизводит интервал времени (период колебаний), равный $1/9122631770$ части секунды. Для многих эталонов указывают не значения единиц, а диапазоны.

В реальности эталон может воспроизводить любое значение величины (любую точку или часть шкала), лишь бы эти значения были известны с требуемой точностью и стабильно воспроизводились.

Точность государственного эталона должна быть достаточной для поверки (калибровки) основного парка эксплуатируемых в стране средств измерений. Наряду с государственными эталонами существуют уникальные независимо аттестуемые средства измерений, обеспечивающие проведение научных экспериментов, более точные, чем государственные эталоны производных единиц.

Наиболее удачным определением эталона следует признать выдвинутое рядом метрологов следующее понятие: «Эталон (шкалы или единицы измерений) – устройство, предназначенное и утвержденное для воспроизведения и (или) хранения и передачи шкалы или размера единицы измерений средствам измерений».

В этом определении подчеркивается, что эталон обязан передавать размер единицы или шкалу, а не значение величины, равное принятой единице.

Классификация эталонов

- *Первичный эталон* — эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. Первичные эталоны подразделяются на национальные (государственные), международные и специальные.
- *Вторичный эталон* — эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы. Вторичные эталоны подразделяются на эталоны-копии и эталоны сравнения.
- Термин "рабочий эталон" заменил используемый ранее термин "образцовое средство измерений".

Основу **эталонной базы** России составляют государственные эталоны основных и дополнительных единиц СИ. Они обеспечивают возможность воспроизведения любых производных единиц СИ, а также некоторых внесистемных единиц, допущенных к применению (как, например, единиц твердости по различным шкалам).

В настоящее время эталонная база России имеет в своем составе **118 первичных государственных эталонов** и **более 300 вторичных эталонов** физических величин. Из них **52** находятся во Всероссийском НИИ метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ, Санкт-Петербург), в том числе эталоны метра, килограмма, ампера, кельвина и радиана; **25** – во Всероссийском НИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ, Москва), в том числе эталоны единиц времени и частоты; **13** – во Всероссийском НИИ оптико-физических измерений, в том числе эталон канделы; **5 и 6** – соответственно в Уральском и Сибирском НИИ метрологии.

Перечень эталонов не повторяет перечня физических величин. Для ряда единиц эталоны не создаются из-за того, что нет возможности непосредственно сравнивать соответствующие физические величины, например, нет эталона площади.

Если расположить эталоны России в порядке уменьшения точности, то получится следующий перечень:

- 1 Эталон единиц времени и частоты
- 2 Эталон единицы длины
- 3 Эталон единицы массы
- 4 Эталон единицы ЭДС
- 5 Эталон единицы электрического сопротивления
- 6 Эталон единицы силы электрического тока
- 7 Эталон единицы плоского угла
- 8 Эталон единицы силы
- 9 Эталон единицы давления
- 10 Эталон единицы температуры в диапазоне
- 11 Эталон единицы силы света
- 12 Эталон единицы мощности СВЧ колебаний
- 13 Эталон единицы потока нейтронов
- 14 Эталон единицы объемной активности радиоактивных аэрозолей и т.д.

Точнее всего воспроизводятся единицы времени и частоты, относительная погрешность которых составляет $1 \cdot 10^{-14}$. Высокая точность характерна для воспроизведения метра и килограмма (несколько единиц на 10^{-9}), затем следуют эталоны единиц плоского угла, температуры и электрических величин ($10^{-7} \dots 10^{-6}$). Эталоны для измерений некоторых механических величин (сила, давление), имеют погрешность порядка 10^{-6} . Прочие эталоны характеризуются погрешностями от $\sim 10^{-4}$ до $\sim 10^{-2}$ (т. е. до нескольких процентов), что относится в частности к большинству величин в области оптики, радиотехники и ионизирующих излучений.

Общее число государственных эталонов основных единиц (**18**) значительно (в 3 раза) превышает число воспроизводимых ими основных единиц (**6**), так как и для основных единиц потребовалось создание не только первичных, но и специальных эталонов.

Так, для основной единицы длины (**метра**) функционируют **5 государственных эталонов**: помимо первичного эталона метра, созданы специальные эталоны для таких специфических областей линейных измерений, как: - измерения длин волн оптического излучения в спектроскопии,

-измерения параметров шероховатости,

-измерения параметров эвольвентных поверхностей для зубчатых зацеплений,
- измерения амплитуды перемещений при колебательном движении твердых тел.

Для основной единицы температуры — **кельвина** — функционируют **7 государственных эталонов**;

для единицы силы тока — **ампера** — **3** государственных эталона;

для остальных основных единиц (**килограмма, секунды и канделы**) в настоящее время имеется только **по одному** (первичному) государственному эталону.

Государственный первичный эталон единицы массы

Государственный эталон единицы массы — килограмм — является самым древним из всех государственных эталонов, хотя в современном его составе он был утвержден в 1968 г.

В 1889 г. по результатам тщательных измерений массы 1 дм³ воды во Франции был изготовлен первый прототип килограмма — платино-иридиевая гиря в виде цилиндра высотой 39 мм, равной ее диаметру, впоследствии названная **архивным килограммом**. Дальнейшие успехи точного взвешивания позволили установить, что определить массу платинового килограмма можно в тысячу раз точнее, чем массу 1 дм воды.

В 1878—83 гг. были изготовлены 43 килограммовые гири по образцу архивного килограмма из платиноиридиевого сплава. Одна из этих гирь, масса которой оказалась наиболее близкой к архивному килограмму, была принята в качестве международного прототипа килограмма, который и определяет в настоящее время размер единицы массы для всех стран Метрической конвенции. Россия получила в 1889 году две копии (№12 и №26) международного килограмма.

Первый Государственный эталон единицы массы в нашей стране был утвержден в 1918 г. Им являлся один из национальных прототипов, приобретенных Россией в 1889 г., — копия №12 международного прототипа килограмма. Вся процедура изготовления прототипа №12 и его исследования подробно изложена в сертификате МБМВ на этот прототип, согласно которому масса прототипа №12 на 1889 г. составляла $1\text{ кг} + (0,068 \pm 0,002)\text{ мг}$.

Государственный первичный эталон единицы времени и частоты

В 1967 г. на XIII ГКМВ было принято новое определение единицы времени - секунды как промежутка времени, в течение которого совершается 9 192 631 770 колебаний, соответствующих резонансной частоте энергетического перехода между уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия при отсутствии внешних возмущающих полей.

Государственный первичный эталон единиц времени и частоты является самым сложным из всех эталонов. В его состав входит большой комплекс аппаратуры, каждое звено которого представляет весьма сложное техническое устройство.

Эталон в целом предназначен для воспроизведения и хранения:

- 1) единицы времени — "атомной" секунды (с);
- 2) единицы частоты — герца (Гц);
- 3) шкалы атомного времени — ТА ;
- 4) шкалы координированного времени — UTC .

Воспроизведение единицы времени (и частоты) в соответствии с ее определением осуществляет в эталоне специально созданная, уникальная по своим характеристикам установка—цезиевый репер частоты — реализующая с наивысшей точностью принцип цезиевой меры частоты.

Государственный эталон времени и частоты обеспечивает воспроизведение размеров единиц времени и частоты (секунды и герца) со средним квадратическим отклонением, не превышающим $5 \cdot 10^{-14}$, при не исключенной составляющей систематической погрешности менее 10^{-14} .

Поверочная схема средств измерений - нормативно-технический или технический документ:

-устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче-размера-единицы; и

-- утвержденный в установленном порядке.

Различают государственную, ведомственные и локальные поверочные схемы.

Утверждение эталона единицы физической величины - правовой акт государственной метрологической службы, заключающийся в признании эталона законным и пригодным для выполнения им своих функций в соответствии с требованиями государственной поверочной системы.

Средство поверки - эталон единицы, образцовое средство измерений или поверочная установка.

Сличение с эталоном - совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью заданного средства измерения и известным значением величины, определенным с помощью эталона.

Эталон сравнения - вторичный эталон, предназначенный для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом.

Эталон-копия - вторичный эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим эталоном. Обычно **эталон-копии** создаются при большом количестве поверочных работ с целью предохранения первичного или специального эталона от преждевременного износа.

[http://www.glossary.ru/cgi-bin/gl_sch2.cgi?Rdygrut:!koto.!\(ono,lxqo\)!ilro,ot](http://www.glossary.ru/cgi-bin/gl_sch2.cgi?Rdygrut:!koto.!(ono,lxqo)!ilro,ot)

- Любое измерение есть сравнение.
- Любое измерение без априорной информации невозможно.
- Результат любого измерения без округления Результат любого измерения без округления значения является случайной величиной.