



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**)



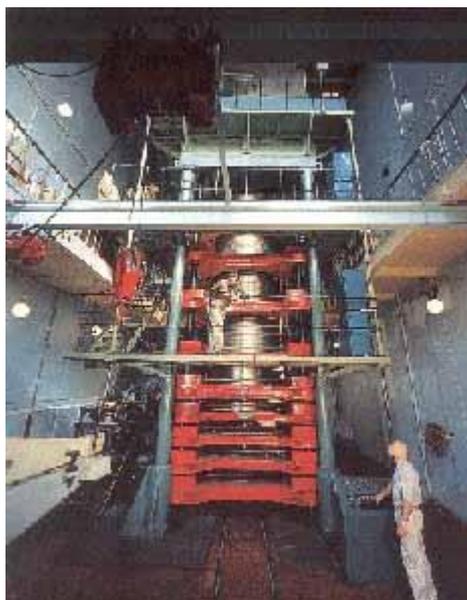
*Государственный эталон единицы длины*



*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.

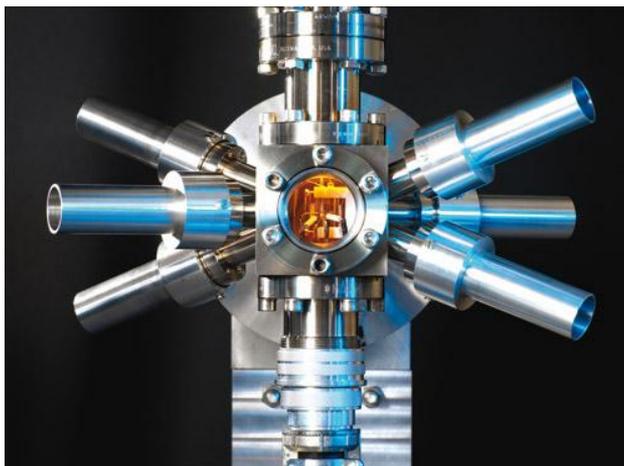
***На основании последних международных сличений платино-иридиевая гиря, входящая в состав государственного эталона единицы массы, в России имела значение 1,000000087 кг (1979 г.)***



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



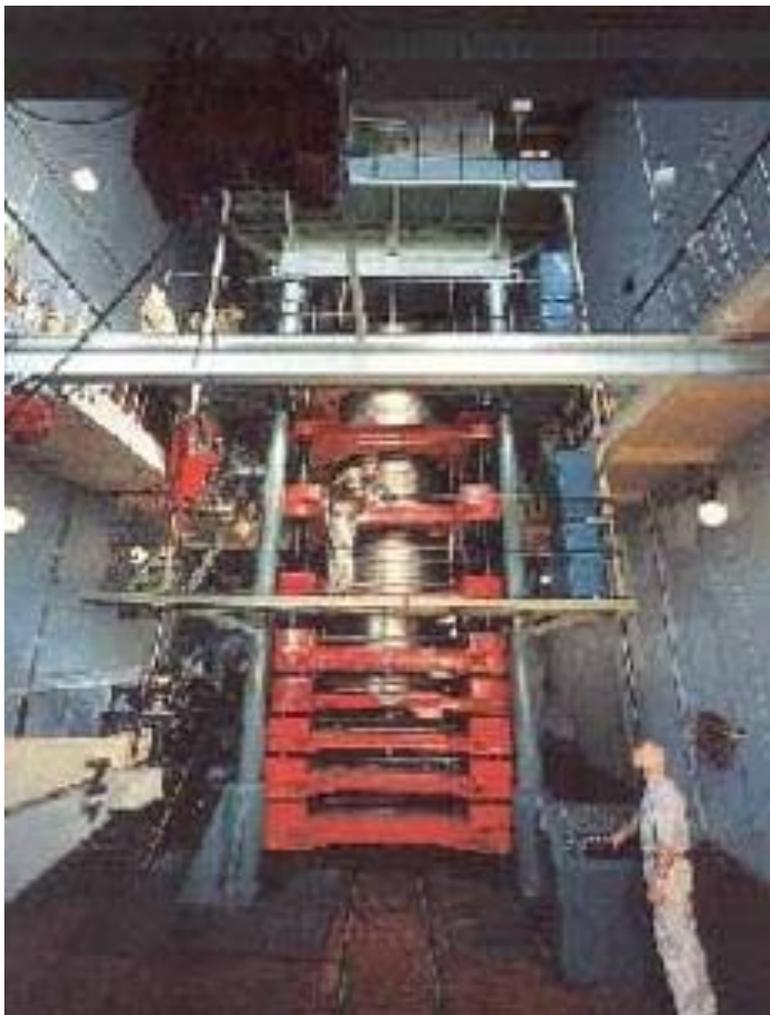
Предыдущий эталон метра - платиново-иридиевый брусок длиной один метр



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 дм<sup>3</sup> 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.