

Метрология

Метрология (от греч. "метро" - мера и "логос" - учение) - это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения единства и требуемой точности измерений.

Метрология

Теоретическая
метрология

занимается вопросами фундаментальных исследований, созданием системы единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерения

Прикладная
метрология

занимается вопросами практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований в рамках метрологии

Законодательная
метрология

включает совокупность взаимообусловленных правил и норм, направленных на обеспечение единства измерений, которые возводятся в ранг правовых положений и имеют обязательную силу и находятся под контролем государства.

Предмет метрологии - извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью.

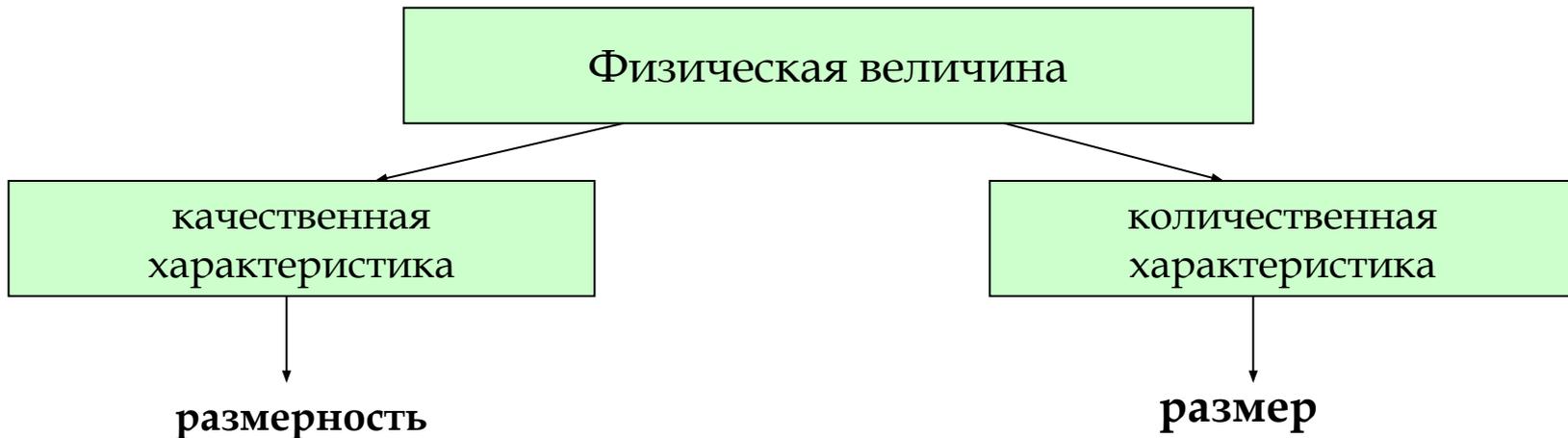
Средства метрологии – это совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное использование.

Объекты метрологии:

- единицы величин,
- средства измерений,
- эталоны,
- методики выполнения измерений.

Физические величины (ФВ)

Физической величиной называют одно из свойств физического объекта (явления, процесса), которое является общим в качественном отношении для многих физических объектов, отличаясь при этом количественным значением.



обозначение - символ **dim**.

Размерность основных величин:

- длины **dim** $l = L$,
- массы **dim** $m = M$,
- времени **dim** $t = T$.

значение величины получают в результате ее измерения или вычисления в соответствии с **основным уравнением измерения:**

$$Q = X [Q],$$

где Q - значение величины;

X - числовое значение измеряемой величины в принятой единице;

$[Q]$ - выбранная для измерения единица

Значения физических величин

(в зависимости от степени приближения к объективности)



Истинное значение физической величины - это значение, идеально отражающее в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Из-за несовершенства средств и методов измерений истинные значения величин практически получить нельзя. Их можно представить только теоретически. А значения величины, полученные при измерении, лишь в большей или меньшей степени приближаются к истинному значению.

Действительное значение физической величины - это значение величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице, называется **единицей физической величины**

Единицы физических величин объединяются по определенному принципу в **системы единиц**.

Эти принципы заключаются в следующем: произвольно устанавливают единицы для некоторых величин, называемых **основными единицами**, и по формулам через основные получают все производные единицы для данной области измерений.

В 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам Международной организации мер и весов (МОМВ) была принята **Международная система единиц (SI)**, которая в России применяется с 1 января 1963 г.

Основные
единицы

**Международной
системы
единиц (SI)**

единица длины- метр (м), - L

единица массы - килограмм (кг), - M

единица времени - секунда (с), - T

единица силы электрического тока - ампер (А), - I

единица термодинамической температуры
кельвин (K), – θ

единица силы света - кандела (кд), J

единица количества вещества - моль (моль) - N

СИСТЕМА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН

Эталон - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи размера другим средствам измерений данной величины, выполненное и утвержденное в установленном порядке

Классификация эталонов



Основные требования к первичному эталону:

Неизменность - способность удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного интервала времени;

Воспроизводимость - воспроизведение единицы с наименьшей погрешностью для данного уровня развития измерительной техники);

Сличаемость (способность не претерпевать изменений и не вносить каких-либо искажений при проведении сличений).

Размер единицы передается "сверху вниз", от более точных СИ к менее точным "по цепочке":

первичный эталон - вторичный эталон - рабочий эталон 0-го разряда - рабочий эталон 1-го разряда... - рабочее средство измерений.

РСИ обладает различной точностью измерений: наиболее точные РСИ при поверке (калибровке) получают размер от вторичных эталонов или рабочих эталонов 1-го разряда; наименее точные - от эталонов низшего разряда (3-го или 4-го).

Методы передачи информации о размере единиц

- **непосредственного сравнения** измеряемой величины и величины, воспроизводимой рабочим эталоном;
- **непосредственного сличения** (т.е. сличения меры с мерой или показаний двух приборов).

Достоверная передача размера единиц во всех звеньях метрологической цепи от эталонов или от исходного образцового средства измерений к рабочим средствам измерений производится в определенном порядке, приведенном в **поверочных схемах**.

Поверочная схема – это утвержденный в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам.

Классификация измерений

по характеристике
точности



- равноточные
- неравноточные

по числу измерений



- однократные
- многократные

по отношению к
изменению
измеряемой величины



- статические
- динамические
- статистические

от способа получения
числового значения



- прямые
- косвенные

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Средство измерений (СИ) –

техническое устройство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные метрологические характеристики.

Классификация СИ
(по функциональному назначению)

- меры,
- измерительные приборы,
- измерительные преобразователи,
- измерительные установки
- измерительные системы.

Мера – это средство измерения, предназначенное для воспроизведения или хранения физической величины заданного размера.

Разновидности мер:

однозначная мера – мера, воспроизводящая физическую величину одного размера (например, гиря 1 кг);

многозначная мера – мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров (например, штриховая мера длины);

набор мер – комплект мер разного размера одной и той же физической величины, предназначенных для применения на практике, как в отдельности, так и в различных сочетаниях (например, набор концевых мер длины);

магазин мер – набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях (например, магазин электрических сопротивлений).

Измерительный прибор

- средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

по способу получения
результата измерений

показывающие

- аналоговые;
- цифровые

регистрирующие

- самопишущие;
- печатающие.

Измерительный преобразователь –

средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки или хранения.

отличие от измерительного прибора -

сигнал на выходе измерительного преобразователя не может восприниматься наблюдателем.

Измерительная установка –

совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенных для измерения одной или нескольких ФВ и расположенных в одном месте.

Измерительная система –

совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связей, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

**Классификация
СИ**
*(по метрологическому
назначению)*



Рабочие СИ (РСИ)

- 1) лабораторные;
- 2) производственные;
- 3) полевые

Эталоны

Метрологические характеристики СИ (МХ СИ)

– характеристики свойств средств измерений, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений.

Для каждого типа средств измерений устанавливают свои метрологические характеристики.

Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют *нормируемыми метрологическими характеристиками*,

а определяемые экспериментально – *действительными метрологическими характеристиками*.

Все метрологические характеристики СИ можно разделить на две группы:

- *характеристики, влияющие на результат измерения* (определяющие область применения СИ);
- *характеристики, влияющие на точность (качество) измерения*.

Основные метрологические характеристики, влияющим на результат измерений:

Диапазон измерений средства измерений (диапазон измерений) - область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений.

Значения величины, ограничивающие диапазон измерений снизу и сверху (слева и справа), называют соответственно *нижним пределом измерений* или *верхним пределом измерений*.

Номинальное значение меры - значение величины, приписанное мере или партии мер при изготовлении.

Действительное значение меры - значение величины, приписанное мере на основании ее калибровки или поверки.

Порог чувствительности средства измерений (порог чувствительности) - характеристика средства измерений в виде наименьшего значения изменения физической величины, начиная с которого может осуществляться ее измерение данным средством.

Пример – Если самое незначительное изменение массы, которое вызывает перемещение стрелки весов, составляет 10 мг, то порог чувствительности весов равен 10 мг.

Основная метрологическая характеристика, определяющая точность измерения, - **погрешность средства измерений**

Классификация погрешностей СИ

по способу
выражения

абсолютная - разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины

$$\Delta X = X_{\text{изм}} - X_{\text{д}}$$

относительная - погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к результату измерений или к действительному значению измеренной физической величины.

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_{\text{изм}}} \cdot 100\%$$

приведенная - относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100\%$$

по отношению к
условиям
измерения

Основная погрешность - погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях.

Дополнительная погрешность - составляющая погрешности средства измерения, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

Класс точности средств измерений (класс точности)

- обобщенная характеристика данного типа средств измерения, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Обозначение класса точности.

- Если предел допускаемой основной погрешности выражен **в форме приведенной погрешности СИ**, то класс точности СИ обозначается **числом**, равным этому пределу, выраженному в процентах.
- Если предел допускаемой основной погрешности выражен **в форме относительной погрешности СИ**, то класс точности обозначается **числом в кружочке**, равным этому пределу, выраженному в процентах.
- Если пределы допускаемой основной погрешности выражены в форме абсолютной погрешности СИ, то класс точности обозначается прописными буквами римского алфавита или римскими цифрами. При этом чем дальше буква от начала алфавита, тем больше значение допускаемой абсолютной погрешности, например, СИ класса С более точен, чем СИ класса М.

Обозначение класса точности наносят на циферблаты, щитки и корпуса СИ, приводят в нормативной документации на СИ.

Задание

При измерении силы тока 1А наиболее точные измерения будут получены при использовании СИ:

- а) диапазон измерения $0 \div 2\text{А}$, класс точности 2
- б) диапазон измерений $0 \div 10\text{А}$, класс точности 1

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

- совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Метод непосредственной оценки - это такой метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия.

Метод сравнения с мерой - это такой метод, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Метод сравнения с мерой имеет разновидности, которые часто рассматриваются как самостоятельные методы измерений:

- **нулевой** - метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и встречного воздействия меры на сравнивающее устройство сводят к нулю.
- **дифференциальный** - полное уравнивание не производят, а разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, отсчитывается по шкале прибора.
- **метод замещения** - метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают некоторой известной величиной, воспроизводимой мерой.
- **метод совпадений** - разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.

АКСИОМЫ МЕТРОЛОГИИ

Рассматривают три ситуации при проведении измерений:

ситуация до измерения,
во время измерения,
после измерения

1. Без априорной (изначальной) информации измерение невозможно. (**Ситуация до измерения**). Сам объект измерения является априорной информацией.
2. Измерение есть ни что иное, как сравнение: сравнения неизвестного размера Q с известным $[Q]$: $Q/[Q] = X$ (**Ситуация во время измерения**).

Теоретически отношение двух размеров должно быть вполне определенным, неслучайным числом. Но практически размеры сравниваются в условиях множества случайных и неслучайных обстоятельств, точный учет которых невозможен. Поэтому при многократном измерении одной и той же величины постоянного размера результат получается все время разным. Это положение, установленное практикой, формулируется в виде 3 аксиомы.

3. *Отсчет является случайным числом.*

За результат измерения применяют среднее значение. (**Ситуация после измерения**)

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений представляют собой приближенные оценки значений величин, найденные путем измерения.

Обязательно существует погрешность измерения, причинами которой могут быть различные факторы. Они зависят от метода измерения, от технических средств, с помощью которых проводятся измерения, и от восприятия наблюдателя, осуществляющего измерения.

Погрешность измерения - отклонение результата измерения $X_{\text{изм}}$ от истинного или действительного значения ($X_{\text{и}}$ или $X_{\text{д}}$) измеряемой величины:

$$\Delta = X_{\text{изм}} - X_{\text{и}}$$

Погрешности измерения могут быть классифицированы по ряду признаков, в частности:

- а) по способу выражения;
- б) по характеру проявления;

По способу числового выражения

погрешность измерения может быть *абсолютной и относительной*.

Абсолютная погрешность измерения (Δ) представляет собой разность между измеренной величиной и действительным значением этой величины

$$\Delta = X_{\text{изм}} - X_{\text{д}}$$

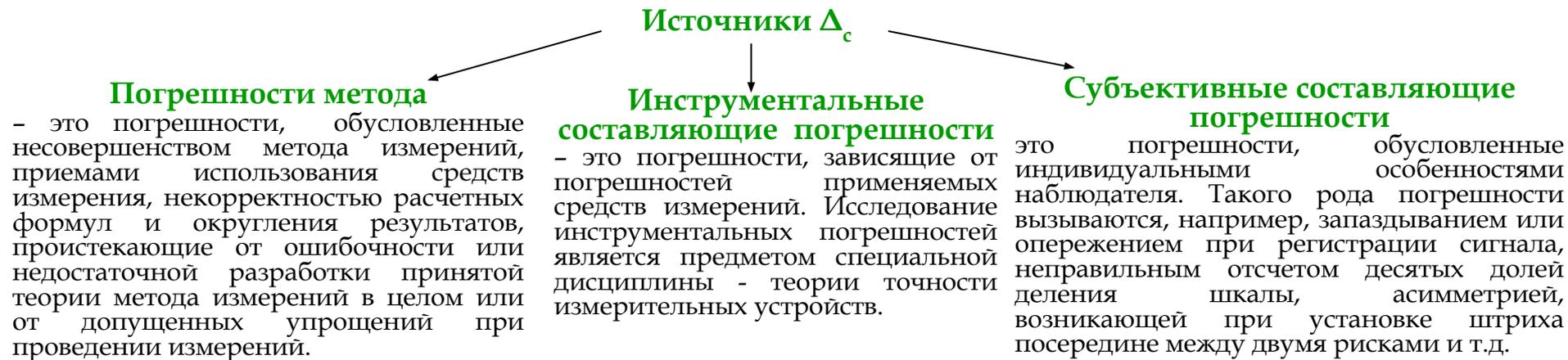
Относительная погрешность измерения (δ) представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к действительному значению измеряемой величины. Относительная погрешность может выражаться в относительных единицах (в долях) или в процентах:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X_{\text{д}}} \quad \text{или} \quad \delta = \pm \frac{\Delta}{X_{\text{д}}} \cdot 100\%$$

По характеру проявления

различают **систематическую** (Δ_c) и **случайную** ($\overset{0}{\Delta}$) составляющие погрешности измерений, а также **грубые погрешности** (промахи).

Систематическая погрешность измерения (Δ_c) – это составляющая погрешности результата измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.



Случайная погрешность измерения ($\overset{0}{\Delta}$) – составляющая погрешности результата измерений, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

В процессе измерения оба вида погрешностей проявляются одновременно, и погрешность измерения можно представить в виде суммы:

$$\Delta = \Delta_c + \overset{0}{\Delta}$$

Грубые погрешности (промахи) возникают из-за ошибочных действий оператора, неисправности СИ или резких изменений условий измерений, например, внезапное падение напряжения в сети электропитания.

ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Этапы:

I. Подготовка к измерениям

При подготовке к выполнению измерения следует максимально возможно исключить источники и причины, которые могут вызвать появление погрешностей.

Под устранением источников погрешностей следует понимать как непосредственное его удаление (например, удаление источника тепла, вибрации и т. п.), так и защиту средств измерений и объекта измерений от влияния этих источников. Инструментальные погрешности, присущие данному экземпляру средства измерений, могут быть устранены до начала проведения измерений путем регулировки или ремонта, необходимость в которых устанавливается при поверке. Отсюда вытекает очень важное правило: проводить измерения можно только средствами измерений, прошедшими поверку или калибровку.

II. Проведение измерений

При выполнении измерения следует предусмотреть специальные приемы проведения измерений с тем, чтобы устранить известные систематические погрешности.

Методы устранения систематически погрешностей: метод компенсации погрешности по знаку, метод замещения, метод рандомизации и т. д.

III. Обработка результатов наблюдений

Полученные при измерениях результаты подлежат обработке по соответствующим статистическим правилам.

Способ обработки экспериментальных данных зависит от вида измерений (прямые, косвенные, совместные и совокупные), числа наблюдений (однократные или многократные), равнозначности.

IV. Запись результатов и характеристик их погрешностей.

В соответствии МИ 1317-86. Результаты и характеристики погрешностей измерений. Формы представления. Способы использования при испытании образцов продукции и контроля их параметров.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ (ГСИ)

- это система обеспечения единства измерений в стране, реализуемая, управляемая и контролируемая федеральным органом исполнительной власти по метрологии – Ростехрегулированием.

Единство измерений - это состояние измерений, при котором их результаты отражены в узаконенных единицах, погрешности известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы.

Деятельность по обеспечению единства измерения (далее - ОЕИ)

направлена на охрану

- прав и законных интересов граждан,
- установленного правопорядка и
- ЭКОНОМИКИ

путем защиты от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений во всех сферах жизни общества на основе конституционных норм, законов, постановлений правительства РФ и НД.

Государственная система обеспечения единства измерений

состоит из следующих подсистем:

Правовой

комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования к взаимосвязанным объектам деятельности по ОЕИ

Нормативная база ОЕИ

Конституция РФ (ст. 71)

Закон РФ "Об обеспечении единства измерений"

Постановления Правительства РФ по отдельным вопросам метрологической деятельности

Нормативные документы:

- национальные стандарты (ГОСТ, ГОСТ Р) системы ГСИ
- правила России (ПР) системы ГСИ

Рекомендации (гриф "МИ") системы ГСИ, государственных метрологических научных центров

Технической

представлена совокупностью:

- межгосударственных, государственных эталонов, эталонов единиц величин и шкал измерений;
- стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;
- стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов;
- средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для осуществления метрологического контроля и надзора;
- специальных зданий и сооружений для проведения высокоточных измерений в метрологических целях;
- научно-исследовательских, эталонных, испытательных, калибровочных и измерительных лабораторий.

Организационной

представлена Метрологическими службами

Метрологическая служба России

Государственная Метрологическая служба (ГМС)

метрологические службы органов Государственного управления и юридических лиц (МС)

Государственная метрологическая служба (ГМС)

находится в ведении
Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии и
включает

**государственные научные
метрологические центры (ГНМЦ)
и метрологические
научно-исследовательские
институты**

ГНМЦ

- несут ответственность за создание, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов, а также за разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений.
- являются хранителями государственных эталонов, проводят исследования в области теории измерений, принципов и методов высокоточных измерений, разработки научно-методических основ совершенствования Российской системы измерений.

**органы Государственной
метрологической службы
на территориях субъектов
Российской Федерации
(Центры стандартизации,
метрологии и сертификации
- ЦСМС).**

проводят работы по поверке и калибровке средств измерений, осуществляют Государственный метрологический контроль и надзор за обеспечением единства измерений (ГМКиН).

Государственный метрологический контроль и надзор (ГМКиН)

Цель - проверка соблюдения правил законодательной метрологии - Закона РФ "Об обеспечении единства измерений", стандартов, правил по метрологии и других НД.

Объекты ГМКиН:

- ✓ средства измерений,
- ✓ эталоны,
- ✓ методики выполнения измерений,
- ✓ количество товаров,
- ✓ другие объекты, предусмотренные правилами законодательной метрологии.

ГМКиН распространяется на строго ограниченные сферы, объединенные в **10 направлений:**

- 1) здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности;
- 2) торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе операции с применением игровых автоматов и устройств;
- 3) государственные учетные операции;
- 4) обеспечение обороны государства;
- 5) геодезические и гидрометеорологические работы;
- 6) банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- 7) продукция, поставляемая по государственным контрактам;
- 8) испытания и контроль качества продукции на соответствие обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации и при обязательной сертификации продукции;
- 9) измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитража, других органов государственного управления;
- 10) регистрация национальных и международных спортивных рекордов.

Государственный метрологический контроль и надзор

Государственный метрологический контроль (ГМК)

- 1) утверждение типа средств измерений;
- 2) поверка средств измерений;
- 3) лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений.

Государственный метрологический надзор (ГМН)

- 1) за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм;
- 2) за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;
- 3) за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже