

Лекции по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация»

Лекция 1. ВВЕДЕНИЕ В МЕТРОЛОГИЮ

Литература:

- **1. Метрология и стандартизация: курс лекций для студентов. Автор О.Г. Широков-Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2005 г- 77с.**
- 2.Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии: Учеб. пособие: - 3-е изд. М.: -Изд. стандартов, 1984.
- 3. Тюрин Н.И. Введение в метрологию: Учеб. пособие: - 3-е изд. М.: - Изд. стандартов, 1985.
- 4. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством: Учеб. для ВУЗов _ М.: Изд. стандартов, 1990. - 342 с.
- 5. Рудзит Я.А., Плуталов В.Н. Основы метрологии, точность и надежность в приборостроении.
- 6. ГОСТ 16263-70. Метрология. Термины и определения. -М.: Издательство стандартов, 1970.
- **7. Практическое руководство к лаб. работам по курсу “Метрология и стандартизация” - Гомель: ГПИ, м/ук. № 2261, 1998. 32 с.**
- 8. ГОСТ 8.009-84 Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. -М.: Издательство стандартов, 1984.
- 9. СТБ-96 Государственная система стандартизации Республики Беларусь.
- 10. МИ 2247-93. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

ВОПРОСЫ ЛЕКЦИИ

- **1. Определение метрологии**
- **2. Связь метрологии, стандартизации и сертификации**

1.1. Определение метрологии

- Первоначально метрология возникла как наука о различных мерах и соотношениях между ними. Общепринятое определение метрологии дано в ГОСТ 16263-70 "ГСИ. Метрология. Термины и определения": метрология - наука об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Из истории метрологии

- На Руси основными единицами длины были пядь и локоть, причем пядь служила основной древнерусской мерой длины и означала расстояние между концами большого и указательного пальца взрослого человека. Позднее, когда появилась другая единица – аршин, пядь ($1/4$ аршина) постепенно вышла из употребления.
- С XVIII в. в России стали применять дюйм, заимствованный из Англии (называется он «палец»), а также английский фут. Особой русской мерой была сажень, равная трем локтям (около 152 см), и косая сажень (около 248 см).
- Указом Петра I русские меры длины были согласованы с английскими, и, это по существу – первая ступень гармонизации российской метрологии с европейской.
- *Метрическая система мер* была введена во Франции в 1840 г.

Из истории метрологии

- Большую роль в становлении метрологии в России сыграл Д.И. Менделеев, руководивший отечественной метрологией в период с 1892 по 1907 г. «Наука начинается... с тех пор, как начинают измерять», - в этом научном кредо выражен, важнейший принцип развития науки, который не утратил актуальности в современных условиях.
- В 1893 году в России под руководством Д.И. Менделеева была создана Главная палата мер и весов.
- В годы Советской власти (1931 г.) в Ленинграде на базе Главной палаты мер и весов был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева.

Из истории метрологии

- В 1960 году была принята Международная система единиц СИ и определена величина метра как длины, равной 1650763,73 длина волны излучения в вакууме (*криптоновый эталон метра*).
- В 1988 г. на международном уровне были приняты новые константы в области измерений электрических единиц и величин, а в 1989 г. принята новая Международная практическая температурная шкала МТШ-90.
- В 1993 году был принят закон РФ «Об обеспечении единства измерений», в котором определены основные понятия на базе официальной терминологии Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ). Закон направлен на защиту прав и интересов граждан, определенного правопорядка и экономики РФ от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

- Метрология делится на три самостоятельных и взаимно дополняющих раздела, основным из которых является **"Теоретическая метрология"**. В нем излагаются общие вопросы теории измерений.
- Раздел **"Прикладная метрология"** посвящен изучению вопросов практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований.
- В заключительном разделе **"Законодательная метрология"** рассматриваются комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, требований и норм, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений (СИ).

Основное понятие метрологии — измерение

- Согласно ГОСТ 16263-70, **измерение** — это нахождение значения физической величины (ФВ) опытным путем с помощью специальных технических средств.
- Значимость измерений выражается в трех аспектах: философском, научном и техническом.

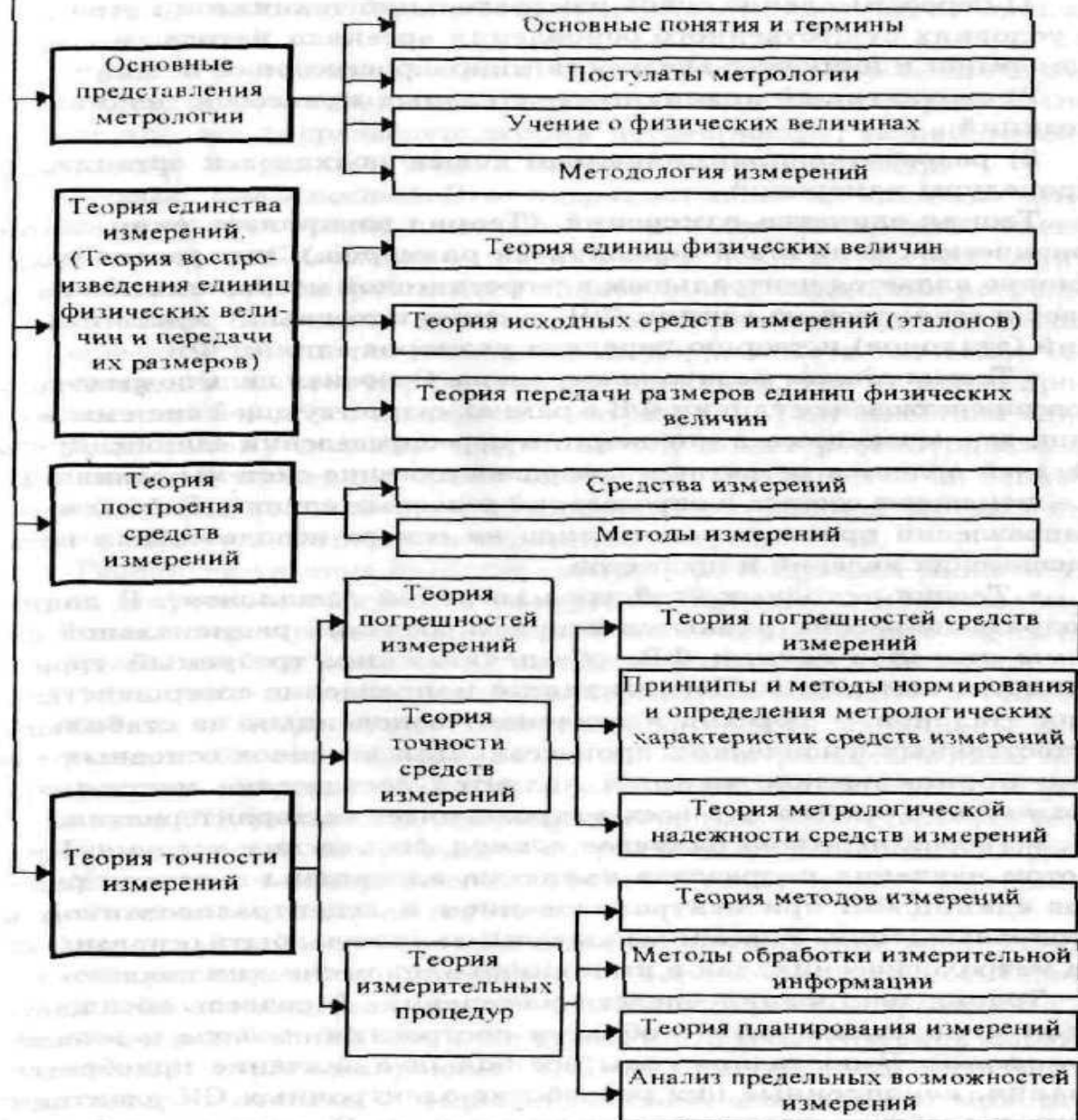
- **Философский аспект состоит в том, что измерения являются важнейшим универсальным методом познания** физических явлений и процессов.
- Метрология как наука об измерениях занимает особое место среди остальных наук.
- Возможность измерения обуславливается предварительным изучением заданного свойства объекта измерений, построением абстрактных моделей как самого свойства, так и его носителя — объекта измерения в целом.
- Поэтому место измерения определяется не среди первичных (теоретических или эмпирических) методов познания, а среди вторичных (квантитативных), обеспечивающих достоверность измерения.

- С помощью вторичных познавательных процедур решаются задачи формирования данных (фиксации результатов познания).
- Измерение с этой точки зрения представляет собой метод кодирования сведений, получаемых с помощью различных методов познания, т.е. заключительную стадию процесса познания, связанную с регистрацией получаемой информации.

- Научный, аспект измерений состоит в том, что с их помощью в науке осуществляется связь теории и практики. **Без измерений невозможна проверка научных гипотез и соответственно развитие науки.**
- Измерения обеспечивают получение количественной информации об объекте управления или контроля, без которой невозможно точное воспроизведение всех заданных условий технического процесса, обеспечение высокого качества изделий и эффективного управления объектом. Все это составляет технический аспект измерений

- **Структура
теоретической
метрологии**

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕТРОЛОГИЯ



- Одна из основных задач метрологии - **обеспечение необходимой точности и достоверности измерительной информации**. В народном хозяйстве применяют лишь те средства измерений, которые гарантируют их результаты. **Результаты измерений** - знания о состоянии объекта и свойствах явлений. Чем точнее эти знания, тем правильнее вывод и принимаемые решения, тем меньше вероятность ошибок и появления дефектов.

2 Связь метрологии, стандартизации и сертификации

- **Со стороны государства регламентируются многие нормы, требования и правила, используемые в процессе измерений для обеспечения единства измерений в стране.** Метрология органически связана со стандартизацией. Эта связь выражается, прежде всего, в стандартизации единства измерений, системе государственных эталонов, системе средств измерений и методов поверок, в создании стандартных образцов свойств и состава веществ.

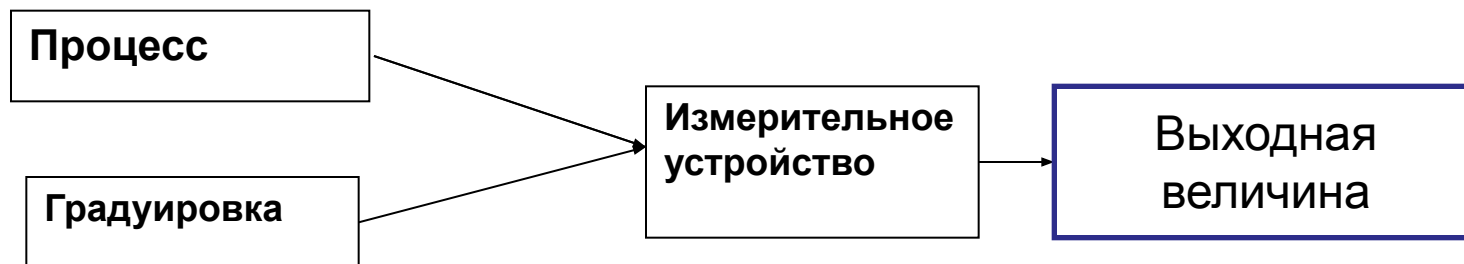
- Необходимость стандартизации **методик выполнения измерений** обусловлена тем, что погрешности результатов измерений определяются не только погрешностью применяемых средств измерений, но и применяемыми методами измерений, внешними условиями, в которых измерения выполняются, способами обработки результатов измерений и др. **Часто оказывается, что погрешности средств измерений составляют весьма малую долю погрешности результата измерений.**
- **Стандартизация опирается на метрологию, обеспечивающую правильность и сопоставимость результатов испытаний материалов и изделий, а также заимствует из метрологии методы определения и контроля качества.**

- Объективность испытаний, достоверность и точность получаемых результатов во многом определяется техническим уровнем измерительной техники, ее автоматизацией.
- Учитывая высокую стоимость контрольных проверок и испытаний, эффективным выходом из этого положения становится взаимное признание результатов испытаний. Это означает, что **страна-импортер**, опираясь на знание действующих НТД, установленного порядка испытаний, наличия необходимых приборов и испытательного оборудования **страны-экспортера** признает результаты, проведенных экспортером испытаний изделия и не проводит повторных испытаний изделия у себя в стране.
- Высшим уровнем такого признания является сертификация. Сертификация – это действие, проводимое с целью подтверждения, посредством сертификата соответствия или знака соответствия того, что изделие или услуга соответствуют определенным стандартам или техническим условиям.

4.ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В МЕТРОЛОГИИ

- ГОСТ 16263-70 "ГСИ. Метрология. Термины и определения".
- В Государственной системе измерений есть стандартное определение измерения: ***измерение — это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.***

- Для осуществления измерений необходимо воспроизвести единицу физической величины, сравнить с ней измеряемое значение, зафиксировать результаты сравнения и оценить погрешности измерения.
- Характерные черты процесса измерения можно представить в виде идеализированной **блок-схемы**.



- Измерительная система
- X – измеряемая величина
- X_N – мера
- X_a – показание

- *Блок-схема* поясняет аспект восприятия и отображения информации о физической величине. Присущий измерению процесс нормирования, т.е. присвоения отображаемой физической величине определенного числового значения, представлен вводимой в измерительное устройство информацией о мере (этalone) физической величины. Информация об измеряемой величине преобразуется измерительным устройством в показания.
- *Диапазон показаний* – область значений измеряемой величины, в которой они могут быть отсчитаны на показывающем измерительном приборе между начальным и конечным значением шкалы.

- **Предел измерений** – часть диапазона показаний, в которой погрешности находятся в предписанных пределах.
- **Диапазон измерений** – область значений измеряемой величины, заключенной между верхним и нижним пределом измерений.
- **Измеренное значение** – значение физической величины, определяемое по показанию средства измерения. Выражается в виде произведения числового значения и единицы измерения физической величины.
- **Средства измерений** – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства, т. е. свойства, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений.
- **Результат измерения** – значение величины, найденное путем ее измерения. В общем случае получают из многих измеренных значений по известным соотношениям.

По способу получения результата измерений измерения разделяют на *прямые, косвенные, совокупные и совместные*

- **Прямое измерение** – это измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Например, измерение массы на циферблатных весах, длины микрометром, температуры термометром, электрического напряжения вольтметром. При прямых измерениях измеряемую физическую величину сравнивают непосредственно с мерой или преобразуют в другую физическую величину, которую также сравнивают с мерой. В качестве меры здесь обычно выступает шкала прибора.
- **Косвенное измерение** – это измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Если измеряемая величина Q связана с другими величинами $X_1, X_2, \dots, X_n$, уравнением $Q = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, то величину Q вычисляют по указанному уравнению между величинами.

- **Совокупные измерения** – это проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.
- Например, необходимо определить размеры физических величин X_1 , X_2 , ..., X_3 , но мы не имеем устройства, которое дало бы возможность измерить непосредственно указанные величины, а располагаем устройствами, позволяющими определить суммы любых двух из указанных величин. Тогда, измеряя сочетания величин, получим следующие уравнения:
 - $X_1 + X_2 = a$;
 - $X_1 + X_3 = b$;
 - $X_2 + X_3 = c$,
- где a , b , c – результаты измерения соответствующих пар размеров величины. Искомые величины X_1 , X_2 и X_3 легко определяются решением указанных уравнений. Таким образом, можно определить массы гирь набора при известной массе по результатам сравнения масс различных сочетаний гирь.
- **Совместные измерения** – это проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними. Например, для определения температурного коэффициента линейного расширения измеряют температуру и длину нагретого до разных температур стержня.

По способу выражения результатов различают абсолютные и относительные измерения

- **Абсолютное измерение** - это измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании физических констант. Примером абсолютных измерений может служить измерение длины рулеткой, измерение силы с помощью мер массы и константы земного ускорения.
- **Относительным измерением** называется измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Например, при измерении частоты на осциллографе путем сравнения с некоторой известной частотой, наблюдают интерференционные фигуры (фигуры Лиссажу), которые идентифицируются в зависимости от отношения частот.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяют на:

- *статические* – при которых измеряемая величина остается постоянной во времени;
 - *динамические* – в процессе которых измеряемая величина изменяется.
-
- К статическим относятся измерения геометрических размеров тела, измерения постоянного давления. К динамическим - измерения пульсирующих давлений, вибрации.

- **Однократные измерения** – измерения, выполняемые один раз.
- **Многократные измерения** – измерения одной и той же физической величины, результат которых получают из нескольких следующих друг за другом измерений. Обычно многократными считаются измерения проводимые свыше трех раз.
- **Технические измерения** – измерения, выполняемые при помощи рабочих средств измерений с целью контроля и управления научными экспериментами, контроля параметров изделия.
- **Метрологические измерения** – измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью нововведения единиц физических величин или передачи их размеров рабочим средствам измерений.
- **Равноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях.
- **Неравноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различными по точности средствами измерений и в разных условиях.

Основные характеристики измерений

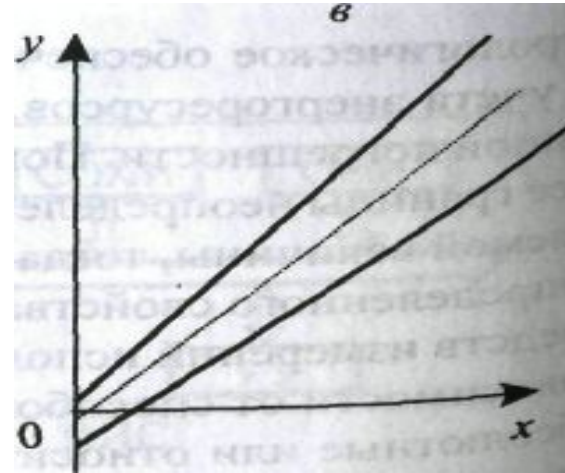
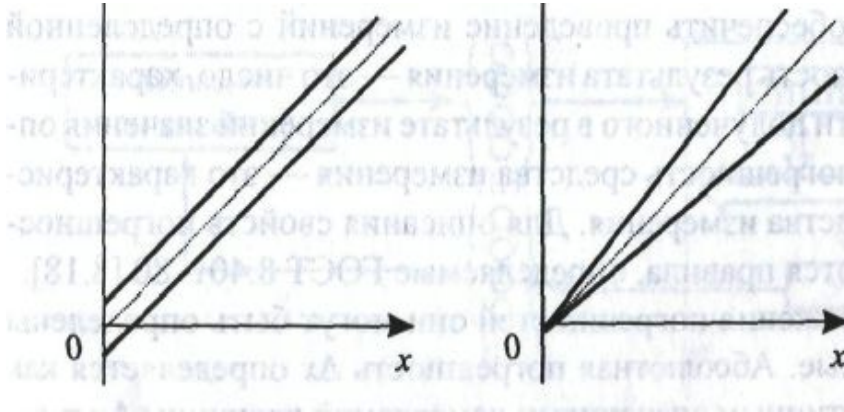
- **Принцип измерений** — это физическое явление или совокупность физических явлений, на которых основаны измерения. Например, при измерении массы путем взвешивания на равноплечих весах используются следующие физические явления: сила притяжения к земле прямо пропорциональна массе, равные массы имеют равные силы тяжести и на равноплечих весах моменты сил будут равны, а весы уравновешены в устойчивом положении. Локационные измерения длин основаны на измерении времени от момента подачи сигнала до момента возвращения отраженного сигнала при известной скорости распространения сигнала в данной среде. Измерение расхода газа или жидкости по перепаду давления в сужающем устройстве основано на зависимости перепада давления от скорости потока.
- **Метод измерений** — это совокупность приемов использования принципов и средств измерения.

Классификация методов измерения



- **Погрешность измерения** – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.
- **Абсолютная** погрешность измерения – погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины:
 - $\Delta x = x - A.$
- **Относительная** погрешность измерения (%) – отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины:
 - $dx = \Delta x / A.$
- **Относительная погрешность не может служить показателем точности измерений, так как она может существенно изменяться в зависимости от значения измеряемой величины. Для нормирования погрешности средств измерений используется понятие приведенной погрешности, которое определяется как:**
 - $\gamma_{пр} = \Delta x / A_n,$
 - где A_n – нормируемое значение (для большинства приборов это максимальное значение шкалы)

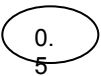
Распределение полосы погрешностей средств измерений



- Если нанести на график экспериментальную зависимость выходного сигнала y от входного x , то полученные точки в координатах $x - y$ разместятся в пределах некоторой полосы. При неизменном положении полосы погрешностей от значения x диапазон разброса значений погрешностей имеет постоянное значение в виде $\Delta x = \pm \Delta x_0$. Такая погрешность получила название **аддитивной** (рис. а). В том случае, если ширина диапазона погрешностей возрастает с увеличением входного сигнала x , такая погрешность носит название **мультипликативной** (рис.б). Когда свой вклад в распределение полосы погрешностей вносят как аддитивная, так и мультипликативная составляющие, распределение полосы погрешностей имеет трапецеидальную форму (рис.в).

- **Пример 1**
- Шкала прибора 0.300 В: прибор показывает 220 В.
- На шкале прибора нанесено 0.5 – допускаемая приведенная погрешность в % $\gamma = 0.5\%$
- Определить величину погрешности измерений.

$$\Delta = \frac{\gamma * U_n}{100} = \frac{0.5 * 300}{100} = \pm 1.5B$$

- **Пример 2**
- Шкала прибора 0.300 В. Прибор показывает 220 В0.5
- На шкале прибора нанесено  – тогда относительная погрешность
- $$\delta = \pm 0.5 \frac{300}{200} = 0.75$$
- Определить величину погрешности измерений.

$$\Delta = \frac{\delta * U_n}{100} = \frac{0.75 * 200}{100} = \pm 1.5B$$

- Абсолютные аддитивные погрешности не зависят от измеряемой величины X , а мультипликативные прямо пропорциональны значению X .
- ***Источники аддитивной погрешности – трение в опорах, неточность отсчета, вибрации.***
- Причинами мультипликативной погрешности являются влияние внешних факторов и старение элементов и узлов приборов.
- Когда свой вклад в распределение полосы погрешности вносит как аддитивная, так и мультипликативная составляющие, распределение полос погрешностей имеет трапециидальную форму.

$$\bullet \quad |\Delta_{\max}| = |a| + |vx|,$$

- где a – предельное значение аддитивной погрешности,
- vx – предельное значение мультипликативной погрешности.

- **Сходимость измерений** – это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях. Повторение измерений приводит к различным результатам наблюдений, распределение которых может быть оценено статистическими методами. Результаты измерения, вероятностные законы, распределения которых известны, называют достоверными. Результаты измерения, достоверность которых неизвестна, т. е. неизвестны предельные погрешности с заданной вероятностью, не представляют ценности и в ряде случаев могут быть источником дезинформации и принести ущерб.
- **Единство измерений** — это такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Единство измерений позволяет обеспечить воспроизводимость измерений, т. е. близость друг к другу измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в разных местах, неодинаковыми методами и средствами). Это особенно важно в настоящее время, когда специализация и кооперация производства осуществляется не только в рамках одной страны, но и в международном масштабе. Без обеспечения единства измерений невозможно успешное развитие науки на основе обмена идеями и результатами. Единство измерений позволяет сопоставить результаты измерений, выполненные с использованием различных методов и средств измерений в различных местах и в разное время.

Единство измерений обеспечивается единообразием средств измерений и правильной методикой выполнения измерений. Мероприятия по обеспечению единства и требуемой точности измерений установлены законодательно.

- ***Единообразие средств измерений*** — это такое их состояние, когда все они проградуированы в узаконенных единицах, а их метрологические свойства соответствуют нормам.
- Единство измерений не может быть обеспечено без специальных мер, осуществляемых в масштабах всего государства. Поэтому создана метрологическая служба, деятельность которой направлена на обеспечение единства измерений.
Метрологическую службу возглавляет Государственный комитет метрологии и стандартизации.

Все используемые средства измерений (СИ) периодически, в установленные сроки, проходят поверку

- ***Поверкой средств измерений называется*** определение метрологическим органом погрешностей СИ и установление его пригодности к применению. Поверка СИ является одним из звеньев в многоступенчатой цепи передачи размера единицы физической величины от эталона через образцовые средства измерений к рабочему средству измерений. Именно эта связь с эталоном обеспечивает единообразие средств измерений и единство измерений.

- **Исходными аксиоматическими понятиями в определении сущности измерений являются:**
- **натуральный ряд однородных величин,**
- **шкалы реперов,**
- **единицы физических величин,**
- **измерительные преобразования.**

Натуральный ряд однородных величин

- По однородным свойствам различные предметы могут быть расположены в виде рядов по возрастающим (или убывающим) значениям величин, характеризующих эти свойства. Например, построение натуральных рядов удельного электрического сопротивления и др.

Шкалы реперов

- Для получения объективных оценок необходимо из последовательного натурального ряда выбрать некоторые опорные (отправные и реперные) значения, которые можно воспроизвести в различных условиях. В температурном ряду таким значением является точка кипения или плавления некоторых веществ (например, точка кипения воды $+100,00^{\circ}\text{C}$, точка плавления льда $0,00^{\circ}\text{C}$).

Измерительное преобразование

- В некоторых случаях, когда нельзя непосредственно сравнить измеряемую величину с воспроизводимой единицей физической величины, используют измерительное преобразование. Это такой вид преобразования, при котором устанавливается однозначное соответствие между значениями двух величин (входной и выходной). Зависимость между этими величинами стремятся сделать линейной.

5. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ЕДИНИЦЫ

- **Физическая величина** ГОСТ 16263-70 определена как свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.
- Так, все тела обладают массой и температурой, но для каждого из них количественная оценка массы или температуры будет различной.
- Не следует применять термин "величина" для выражения только количественной стороны рассматриваемого свойства. Например, неправильно употреблять выражения: "величина массы", "величина давления", "величина силы" и т. п., потому что свойства – масса, давление, сила – сами являются величинами. В этих случаях речь идет о размерах физических величин, и поэтому следует говорить "размер массы", "размер давления".

Размером физической величины называется количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию физическая величина.

- Между размерами каждой физической величины существуют отношения, которые имеют ту же логическую структуру, что и отношения между числовыми формами (целыми, рациональными или действительными числами, векторами). Поэтому множество числовых отношений типа "больше", "меньше", "равно", "сумма" и других может служить моделью физической величины, т. е. множества ее размеров с отношениями между ними.

Различают три вида физических величин, измерение которых осуществляется по принципиально различным правилам:

- ***К первому виду физических величин относятся величины, на множестве размеров которых определены лишь отношения порядка и эквивалентности.***
- Это отношения типа "тверже", "мягче", "одинаково твердые", "теплее", "холоднее" и т. п. Существование подобных отношений устанавливается теоретически или экспериментально с помощью специальных средств сравнения, а также на основе наблюдений за результатами воздействия физической величины на какие-либо объекты.
- К величинам этого вида относятся: твердость, определяемая как способность тела оказывать сопротивление проникновению в него другого тела, температура, понимаемая как степень нагретости тела, сила землетрясения.
- Так, например, легко установить различие в твердости стали и свинца, можно установить различие в твердости двух образцов стали путем вдавливания одного в другой, но не можем установить значения различия в твердости и тем более сравнить эти различия.

для второго вида физических величин отношения порядка и эквивалентности имеют место не только между размерами величин, но и между разностями в парах их размеров.

- К этому виду относятся такие величины, как **время, потенциал, энергия, температура**, связанная, по определению, со шкалой ртутного термометра. Возможность сравнения разностей их размеров вытекает из самих определений этих величин. Так, разности температур считаются равными, если расстояния между соответствующими отметками на шкале ртутного термометра равны.

Третий вид составляют аддитивные физические величины.

- *Аддитивными физическими величинами называются величины, на множестве размеров которых определены не только отношения порядка и эквивалентности, но и операции сложения и вычитания.*
- Операция считается определенной, если ее результат (сумма или разность) также является размером той же физической величины и существует способ ее технической реализации.
- К таким величинам относятся, например, длина, масса, термодинамическая температура, сила тока, ЭДС, электрическое сопротивление. Их можно измерять по частям, а также воспроизводить с помощью многозначной меры, основанной на суммировании отдельных мер.
- **К аддитивным физическим величинам относятся и разности некоторых физических величин второго вида: разность потенциалов, отрезки времени, рассматриваемые как разности моментов времени и др.** Но их следует рассматривать как новые физические величины, так как разность потенциалов не является потенциалом, а разность двух моментов времени не является моментом времени.

Для количественной оценки свойств физической величины применяют понятия "значение" и "размер"

- **Между этими понятиями есть принципиальное различие.** Размер физической величины существует реально и не зависит от того, производится его измерение или нет. Значение физической величины появляется только в процессе измерений и зависит от единицы измерения.
- **Размерность физических величин** – это соотношение между единицами величин, входящих в уравнение, связывающее данную величину с другими величинами, через которые она выражается.
- Для любой физической величины третьего вида всегда можно выбрать некоторую $[Q]$ и присвоить ей числовое значение, равное 1. Эту величину называют *единицей физической величины*.
- **Единица физической величины** - физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице.

- **Значение физической величины** – оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.
- **Значение физической величины Q** определяется уравнением $Q = q[Q]$ которое называют основным уравнением измерения.
- Числовое значение величины третьего вида показывает, во сколько раз значение измеряемой величины больше некоторого значения, принятого за единицу. Следовательно, при различных единицах измерения значение физической величины Q будет выражено различными числовыми значениями:
- **При выбранной единице измерения физическая величина как объективно существующее свойство объекта в данный момент времени может быть охарактеризована истинным ее значением.**

- **Истинным значением физической величины** называется значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношении соответствующее свойство объекта. Определить экспериментально его невозможно вследствие неизбежных погрешностей измерения.
- **Вместо истинного значения при эксперименте получают действительное значение физической величины, степень приближения которого к первому зависит от цели эксперимента и выбранной точности измерительного средства.**

Действительное значение физической величины

- *Действительное значение физической величины* – значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него. Для действительного значения физической величины всегда можно указать границы более или менее узкой зоны, в пределах которой с заданной вероятностью находится истинное значение физической величины.

Сигналы измерительной информации

- **Сигналом** называется материальный носитель информации, представляющий собой некоторый физический процесс, один из параметров которого функционально связан с измеряемой физической величиной. Такой параметр называют *информативным*.
- **Сигнал измерительной информации** – сигнал, функционально связанный с измеряемой физической величиной и несущий информацию о ее значении.

Классификация измерительных сигналов



По характеру измерения информативного и временного параметров измерительные сигналы делятся на аналоговые, дискретные и цифровые:

- Аналоговый сигнал – это сигнал, описываемый непрерывной или кусочно-непрерывной функцией.
- Дискретный сигнал – это сигнал, изменяющийся дискретно во времени или по уровню.
- Цифровые сигналы – квантованные по уровню и дискретные по времени сигналы.

- По характеру изменения во времени сигналы делятся на **постоянные**, значения которых с течением времени не изменяются, и **переменные**, значения которых меняются во времени.

Международная система единиц

- Физические величины, единицы которых устанавливаются независимо от других величин в системе, называются *основными величинами*, а их единицы – *основными единицами*.
- Все остальные величины и единицы определяются однозначно через основные и называются *производными*.
- Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, называется системой единиц физических величин. Единица основной физической величины является основной единицей данной системы.

Основные и дополнительные единицы физических величин системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное
	Основные				
Длина	L	l	метр	м	m
Масса	M	m	килограмм	кг	kg
Время	T	t	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	I	ампер	А	A
Термодинамическая температура	θ	T	кельвин	К	K
Количество вещества	N	n, ν	моль	моль	mol
Сила света	J	J	кандела	кд	cd
	Дополнительные				
Плоский угол	-	-	радиан	рад	rad
Телесный угол	-	-	стерадиан	ср	sr

- **Размерности производных физических** величин определяются произведением размерностей основных величин, взятых в степенях, соответствующих степеням в уравнениях между величинами в физике.
- Диапазоны числовых значений физических величин так велики, что в практическом использовании единиц применяют *кратные и дольные единицы*.
- **Кратная единица физической величины** – это единица, большая в целое число раз системной или внесистемной единицы. Например, гектар ($100 \text{ ар} = 10\,000 \text{ м}^2$), минута (60 секунд), километр (1000 метров), мегаватт (10^6 ватт).
- **Дольная единица физической величины** определяется как единица, меньшая в целое число раз системной или внесистемной единицы. Примеры: миллиметр (10^{-3} метра), дюйм ($1/12$ фута), угловая минута ($1/60$ углового градуса), пикофарада (10^{-12} фарады), наносекунда (10^{-9} секунды).
- Целое число при образовании кратных и дольных единиц должно соответствовать принятому в данной системе принципу образования кратных и дольных единиц.

Решениями Генеральной конференции по мерам и весам установлены следующие *определения основных единиц:*

- **Метр** равен длине пути, проходимого светом в вакууме за $1/299\,792\,458$ долю секунды.
- **Килограмм** – единица массы, равная массе международного прототипа килограмма.
- **Секунда** равна $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.
- **Ампер** – сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум нормальным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызывает между проводниками силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.
- **Кельвин** – единица термодинамической температуры – $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.
- **Кандела** равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540,1012$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.
- **Моль** – количество веществ системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в углероде-12 массой $0,012$ кг.

Дополнительные единицы – это единицы измерения плоского и телесного угла – радиан истерадиан.

- Они не включены в основные, так как это вызвало бы затруднение в трактовке размерностей величин, связанных с вращением. Их нельзя отнести и к производным, так как они не зависят от основных величин. Размеры радиана истерадиана не зависят от размера единицы длины.
- **Радиан** – единица плоского угла, равная углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу. В градусном исчислении $1 \text{ рад} = 57^{\circ}17'44,8''$.
- **Стерадиан** – единица, равная телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Классификация средств измерений

- *Средства измерений* – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства. По назначению средства измерения разделяют на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы.
- *Меры – средства измерений, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера.*
- Различают **однозначные и многозначные меры**.
- **Однозначные меры** воспроизводят одно значение физической величины (например, нормальный элемент – значение ЭДС). **Многозначные меры** воспроизводят (плавно или дискретно) ряд значений одной и той же физической величины.
- Широкое применение имеют магазины сопротивлений, обеспечивающие ряд дискретных значений сопротивлений. Некоторые меры воспроизводят одновременно значения двух физических величин. Мера необходима для выполнения сравнения с ней измеряемой величины и получения ее значения. В зависимости от степени точности и области применения меры подразделяют на *эталон, образцовые и рабочие*. *Эталон воспроизводит единицу физической величины с наивысшей точностью.*

Измерительные преобразователи

- *Измерительные преобразователи – средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.*
- Принцип их действия основан на различных физических явлениях.
- Измерительные преобразователи преобразуют любые физические величины X (электрические, неэлектрические, магнитные) в выходной электрический сигнал $Y = f(X)$.

Преобразователи

- Различают:
- *преобразователи непрерывной величины в дискретную;*
- *первичные преобразователи (датчики), к которым подводится измеряемая величина;*
- *промежуточные, включенные в измерительную цепь после первичного;*
- *масштабные, предназначенные для изменения значения величины в некоторое число раз;*
- *обратные, включенные в цепь обратной связи;*
- *передающие;*
- *сравнения, предназначенные для сравнения измеряемой величины с мерой;*
- *выходные.*
- К измерительным преобразователям можно отнести преобразователи переменного напряжения в постоянное, делители тока, напряжения, измерительные трансформаторы напряжения и тока, усилители, компараторы, аналого-цифровые преобразователи, цифро-аналоговые преобразователи и др.

Измерительные приборы

- *Измерительные приборы* – средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы состоят из ряда соединенных между собой определенным образом измерительных преобразователей.

Измерительные установки

- **Измерительные установки** – совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, преобразователей, приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, и расположенная в одном месте. Например, измерительная установка для измерения мощности в трехфазных цепях.

Измерительная система

- **Измерительная система** – совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.
- Измерительную систему, в которой предусмотрена возможность представления информации оператору, называют *информационно-измерительной системой (ИИС)*. Если в состав ИИС входит свободно программируемая ЭВМ, то система называется *измерительно-вычислительным комплексом (ИВК)*.

ЭТАЛОНЫ

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

Эталон

- **Эталон** единицы представляет собой средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины (или одну из этих функций) с целью передачи размера единицы образцовым, а от них рабочим средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.
- **Эталон** называется **первичным**, если он воспроизводит единицу с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами) точностью. Первичные эталоны основных единиц воспроизводят единицу в соответствии с ее определением.

- Первичный, или специальный, эталон, официально утвержденный в качестве исходного для страны, называется **государственным**.
- **Основное назначение эталонов – служить материально-технической базой воспроизведения и хранения единиц физических величин.**
- По своему метрологическому назначению вторичные эталоны делят на **эталон-копии, эталон сравнения, эталон-свидетели и рабочие эталоны.**
- Допускается применение государственного эталона в качестве рабочего, если это предусмотрено правилами хранения и применения эталона.

Метрологическая цепь передачи размеров единиц

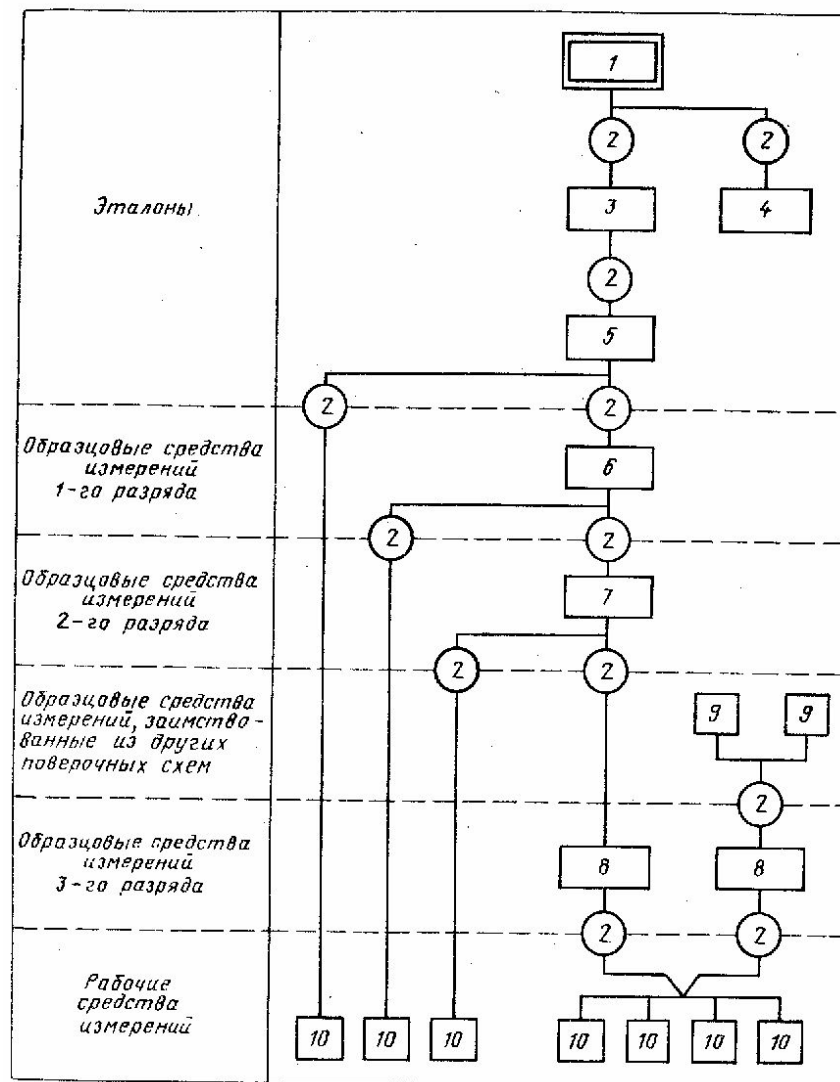


Поверочные схемы

- Для обеспечения правильной передачи размера единиц физических величин во всех звеньях метрологической цепи (от эталонов образцовым мерам, а от них – рабочим мерам и измерительным приборам) должен быть установлен определенный порядок. Этот порядок и приводится в поверочных схемах.
- **Поверочная схема** представляет собой исходный документ, устанавливающий метрологическое соподчинение эталонов, образцовых средств измерений и порядок передачи размера единицы образцовым и рабочим средствам измерений.
- Государственные поверочные схемы должны служить основанием для составления локальных поверочных схем и для разработки государственных стандартов и методических указаний на методы и средства поверки образцовых и рабочих средств измерений. Общесоюзные поверочные схемы утверждаются в качестве государственных стандартов.
- Элементами общесоюзной поверочной схемы являются наименования государственных эталонов, эталонов-копий, эталонов-свидетелей, эталонов сравнения, рабочих эталонов, образцовых средств измерений и рабочих средств измерений, а также методов передачи размера единиц (методов поверки).

- Методы поверки, указываемые на поверочной схеме, должны отражать специфику поверки данного вида средств измерений.
- В поверочных схемах приведены различные способы поверки средств измерений по образцовым средствам измерений, а последних – по эталонам. Поверка средств измерений – это определение метрологическим органом погрешностей средств измерений и установление их пригодности к применению.

других поверочных схем; 10 – рабочие средства измерений



Меры могут быть поверены:

- - способом сличения с более точной образцовой мерой посредством компарирующего прибора (например, поверка концевых мер длины);
- - измерением воспроизводимой мерой величины измерительными приборами соответствующего разряда и класса (в этом случае поверка часто называется градуировкой мер, например градуировка мер твердости);
- - способом калибровки, когда с более точной мерой сличается лишь одна мера набора или одна из отметок шкалы многозначной меры, а действительные размеры других мер или значения все производимых ими величин на других отметках шкалы определяются путем их взаимного сравнения в различных сочетаниях на приборах сравнения и при дальнейшей обработке результатов измерений (калибровка гирь или линейных шкал).

Поверка измерительных приборов осуществляется одним из двух методов:

- **- методом измерения величин, воспроизводимых образцовыми мерами соответствующего разряда или класса точности, значения которых выбирают равными соответствующим (чаще всего всем оцифрованным) отметкам шкалы прибора; наибольшая разность между результатами измерения и соответствующими им размерами мер является в этом случае основной погрешностью прибора;**
- **- методом сличения поверяемого и некоторого образцового прибора при измерении одной и той же величины; разность их показаний при измерении различных значений измеряемой величины определяет погрешность поверяемого прибора.**