

# Метрология, стандартизация и сертификация

---

Часть вторая

## Метрология

*Наука начинается с тех пор,  
как начинают измерять.  
Точная наука немислима без меры.  
Д. И. Менделеев*

# Мини-лексикон

Метрология, законодательная метрология, физическая величина, качественная и количественная характеристика физических величин, методы измерений, шкалы измерений, ранжирование, разновидности измерений, средства измерений, класс точности средств измерений, метрологическая характеристика средств измерений, метрологическая надежность средств измерений, математическая модель измерения, основной постулат метрологии, погрешность измерений, единство измерений, эталоны и образцовые средства измерений, поверочная схема, квалиметрия, показатели качества, оценка уровня качества.

# Литература

## *к части второй*

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність».
2. Закон України «Про забезпечення єдності вимірювань».
3. ДСТУ 3651.0-97. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць.
4. ДСТУ 3651.1-97. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць і позасистемні одиниці.
5. Бакка М. Т., Тарасова В. В. Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація. Частина 1. Метрологія: Навчальний посібник. - Житомир: ЖІТІ, 2002.-337 с.
6. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством: Учебник для вузов.- М.: издательство стандартов. 1990.- 342 с.
7. Крылова Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. - М. : ЮНИТИ - ДАНА, 2005. - 671 с.

## **3. Метрология и её значение в научно - техническом прогрессе**

- 3.1. Общие сведения об метрологии
- 3.2. История развития метрологии
- 3.3. Основные проблемы метрологии
- 3.4. Законодательная метрология

# Метрология и её значение в научно-техническом прогрессе.

## Общие сведения об метрологии

**Метрология**- наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

**Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая действующие в природе закономерности.**

**Математика, механика, физика стали именоваться точными науками потому, что благодаря измерениям они получили возможность устанавливать точные количественные соотношения, выражающие объективные законы природы.**

# История развития метрологии

*Вначале измерения были весьма примитивными. За единицу измерений служили размеры собственного тела человека: расстояния между вытянутыми руками или окончаниями большого и малого пальцев руки.*

**VI- I век до нашей эры:** в Крыму, на древней территории Украины существовали различные единицы измерений. Они были тесно взаимосвязаны с древнегреческими.

- **Единицы длины-** фут, дактиль, пледр, пядь, локоть, оргия.
- **Единицы массы-** драхма, мина.
- **Единицы объема-** хойник, хус, гемигект, метрет, медимн.

*Практически до средних веков измерения ограничивались определением времени, геометрических размеров, массы и объема.*

# История развития

**XVII столетие:** с бурным развитием науки и искусства возникла **необходимость измерения** и других величин, потребовалась более **высокая точность** измерений.

**Появились первые барометры, гигрометры, термометры, манометры.**

**XVIII век – появились первые динамометры, калориметры, приборы для измерения световых величин.**

*Вместе с тем долгие годы не существовало единства измерений, что затрудняло сотрудничество многих стран.*

Так **во второй половине XVIII века** в Европе **насчитывалось около 100 футов** различной протяженности, **50 различных миль, 120 различных фунтов.**

# История развития

**1835** год – вышел царский указ « *О системе российских мер и весов*».

## Указом установлены:

- ❖ мера длины- сажень, равный семи английским футам;
- ❖ мера массы- фунт, равный массе воды объемом 25,02 кубических дюймов;
- ❖ мера жидкости- ведро, равное 30 фунтам воды;
- ❖ для сыпучих- четверик, **равный** 64 фунтам воды.

**1899** год- в России утверждено «*Положение о мерах и весах*».

## В основу положены:

- единица массы- фунт, равный 0,140951241 кг;
- единица длины- аршин, равный 0,7112 м.

**1918** год- Россия приняла декрет « *О введении Международной метрической системы мер и весов*».



# История развития

**В настоящее время *рост производительности***

технологических машин и скоростей, *миниатюризация и прецизионность* устройств, *нанотехнологии* предъявили высокие требования к точности информации, скорости её выдачи и переработки.

**Сложность функционирования** технологических и других систем привела к созданию не менее сложных *измерительных приборов, комплексов систем.*

**Точность и надежность информационно-измерительной техники,** скорость обработки и передачи информации *обеспечивают функционирование и надежность* космических кораблей, орбитальных станций, атомных электростанций.

Состояние метрологии и метрологического обеспечения определяет уровень развития всех отраслей науки, в основе которых лежит физический эксперимент и научно-технический прогресс общества в целом.



# Законодательная метрология

Отношения в сфере метрологии регулируются Законом Украины « О метрологии и метрологической деятельности» и иными нормативно- правовыми актами.

**Законодательная метрология – один из разделов метрологии.**

**Законодательная метрология** включает в себя комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, требований и норм, а так же другие вопросы, нуждающиеся в регламентации со стороны государства, и направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений.

Деятельность по обеспечению функционирования **Государственной метрологической системы** координирует *Государственный комитет Украины по метрологии, стандартизации и сертификации.*

# Государственная метрологическая система обеспечивает единство измерений в государстве и направлена на:

- ❑ *защиту граждан и национальной экономики от последствий недостоверных результатов измерений;*
- ❑ *реализацию единой технической политики в области метрологии;*
- ❑ *экономия всех видов материальных ресурсов;*
- ❑ *повышение уровня фундаментальных исследований и научных разработок;*
- ❑ *обеспечение качества и конкурентоспособности отечественной продукции;*
- ❑ *создание научно-технических, нормативных и организационных основ обеспечения единства измерений в государстве.*

## **4. Физические величины и единицы их измерений**

4.1. Измеряемые величины

4.2. Качественная характеристика физических величин

4.3. Количественная характеристика измеряемых величин

4.4. Единицы измерений

# Физические величины и единицы их измерений

## Измеряемые величины

**Предмет познания**- объекты, свойства и явления окружающего мира.

**Объект**- окружающее нас пространство. Свойство окружающего нас пространства- **протяженность**.

**Длина**- характеристика (мера) пространственной протяженности.

Для полного описания пространства, помимо длины, используются такие меры: ***угол, площадь, объем.***

## Измеряемые величины

**Время** - общепринятая мера длительности событий и явлений в реальном мире.

**Масса**- мера инертности: свойство тел сохранять в отсутствии внешних воздействий состояние покоя или равномерного движения.

**Термодинамическая температура** - мера нагретости тел.

***Физическими величинами*** называются общепринятые или установленные законодательным путем характеристики (меры) различных свойств, общих в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем, их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальных для каждого из них.

## Измеряемые величины

К *физическим величинам*, помимо длины, времени, температуры и массы, относятся: *плоский и телесный угол, сила, давление, скорость, ускорение, электрическое напряжение, сила электрического тока, мощность, освещенность, сила света и многое другое.*

Физические величины определяют некоторые **общие**, в качественном отношении физические свойства, количественные характеристики которых могут быть совершенно **различны**.

Получение сведений о количественных характеристиках величин является задачей **измерений**.



## Измеряемые величины

*Объектами измерений являются не только физические величины.*

В экономике существует понятие **стоимости**- свойства, общего для всех видов товарной продукции, но в количественном отношении индивидуального для каждого из них.

*Стоимость*, являясь мерой свойств товарной продукции, относится не к физическим, а к экономическим величинам, которые называются **экономическими показателями**.

**Качество продукции** определяется как совокупность свойств продукции, обуславливающих удовлетворение определенных потребностей в соответствии с её назначением. Мерами этих свойств служат **показатели качества**.

# Качественная характеристика физических величин

Формализованным отражением качественного различия физических величин является их **размерность**.

**Размерность** обозначается символом **dim**, происходящем от слова **dimension** (*англ. измерение*).

**Размерность** основных физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами:

$$\dim l = L; \dim m = M; \dim t = T.$$

## Качественная характеристика физических величин

При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами:

**1. Размерности правой и левой частей уравнений не могут не совпадать**, так как сравниваться между собой могут только одинаковые свойства.

Объединяя левые и правые части уравнений можно прийти к выводу, что алгебраически суммироваться могут только величины, имеющие одинаковую размерность.

Теория размерностей повсеместно применяется для оперативной проверки правильности сложных формул. Если размерности левой и правой частей уравнения не совпадают, т.е. не выполняется приведенное правило, то в выводе формулы, к какой бы области значений она не относилась, **следует искать ошибку.**

## Качественная характеристика физических величин

**2. Алгебра размерностей мультипликативна**, т.е. состоит из одного единственного действия – **умножения**.

**2.1. Размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей.**

Так, если зависимость между значениями величин **Q**, **A**, **B**, **C** имеет вид:

$$Q = A \cdot B \cdot C,$$

то  $\dim Q = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C$

## Качественная характеристика физических величин

**2.2. Размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей.**

Так, если  $Q=A/B$ , то  $\dim Q = \dim A / \dim B$

**2.3. Размерность любой величины, возведенной в некоторую степень, равна её размерности в той же степени.**

Так, если  $Q=A^n$ , то  $\dim Q = \prod_1^n \dim A = \dim^n A$

Например, если скорость определять по формуле

$$V = l/t,$$

где  $l$  - расстояние,  $t$  - время,  $V$  - скорость, то пройдено это расстояние, то

## Качественная характеристика физических величин

Размерность производной физической величины всегда можно выразить через размерности основных физических величин с помощью степенного одночлена:

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma \dots,$$

где  $L, M, T, \dots$ -размерности соответствующих основных физических величин;

$\alpha, \beta, \gamma, \dots$ - показатели степени размерности этих величин.

*Каждый из показателей степени размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулём.*

Если все показатели степени размерности равны нулю, то такая величина называется **безразмерной**.

# Количественная характеристика измеряемых величин

Количественной характеристикой измеряемой величины служит её *размер*.

Получение информации о размере физической или нефизической величины является содержанием любого измерения.

Простейший способ получения такой информации, позволяющий составить некоторое представление о размере измеряемой величины, состоит в **сравнении** его с другим по принципу- *«что больше (меньше)?»* или *«что лучше (хуже)?»*

Подобным образом решаются многие задачи выбора. При этом число сравниваемых между собой величин может быть достаточно большим.

## Количественная характеристика измеряемых величин

Расположенные в порядке возрастания или убывания размеры измеряемых величин образуют **шкалу порядка**.

По шкале порядка, например, оценивают мастерство исполнителей на различных конкурсах. Полученная измерительная информация в виде итоговой таблицы отражает тот факт, что мастерство одних выше мастерства других, хотя и неизвестно, в какой степени (**на сколько, или во сколько раз**).

Расстановка размеров в порядке их возрастания или убывания с целью получения измерительной информации по шкале порядка называется **ранжированием**.



## Количественная характеристика измеряемых величин

Для облегчения измерений по шкале порядка некоторые точки на ней можно зафиксировать в качестве опорных, которые называются **реперными**.

Точкам **реперной шкалы** могут быть присвоены соответствующие цифры, называемые баллами.

Широкое распространение **реперные шкалы** получили в гуманитарных науках, спорте, искусстве, образовании и других областях, где измерение не достигло высокого совершенства.

По **реперным шкалам** измеряются интенсивность землетрясений, сила ветра, сила морского волнения, твердость минералов, чувствительность фотопленок, знания в учебных заведениях.

# Международная сейсмическая шкала MSK - 64

Балл	Название землетрясения	Краткая характеристика
1	Незаметное	Отмечается только сейсмическими приборами
2	Очень слабое	Ощущается отдельными людьми, находящимися в состоянии покоя
3	Слабое	Ощущается лишь небольшой частью населения
4	Умеренное	Распознается по мелкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стекол, скрипу дверей и стен
5	Довольно сильное	Общее сотрясение зданий, колебание мебели, трещины оконных стекол и штукатурки, пробуждение спящих
6	Сильное	Ощущается всеми. Картины падают со стен, откалываются куски штукатурки, легкое повреждение зданий
7	Очень сильное	Трещины в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные постройки остаются невредимы
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются
9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов
10	Уничтожающее	Крупные трещины в почве. Оползни и обвалы. Разрушение каменных построек, искривление железнодорожных рельсов
11	Катастрофа	широкие трещины в земле. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома совершенно разрушаются
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные обвалы, оползни, трещины. Возникновение водопадов, подпруд на озерах. Отклонение течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает

# Сила ветра по шкале Бофорта

Балл	Название ветра	Действие
0	Штиль	Дым идет вертикально
1	Тихий	Дым идет слегка наклонно
2	Легкий	Ощущается лицом, шелестят листья
3	Слабый	Развеваются флаги
4	Умеренный	Поднимается пыль
5	Свежий	Вызывает волны на воде
6	Сильный	Свистит в вантах, гудят провода
7	Крепкий	На волнах образуется пена
8	Очень крепкий	Трудно идти против ветра
9	Шторм	Срывает черепицу
10	Сильный шторм	Вырывает деревья с корнем
11	Жестокий шторм	Большие разрушения
12	Ураган	Опустошительное действие

# Твёрдость минералов (по Моосу)

Балл	Характеристика твердости
0	Меньше твердости талька
1	Равна твердости талька или больше ее, но меньше твердости гипса
2	Равна твердости гипса или больше ее, но меньше твердости известкового шпата
3	Равна твердости известкового шпата или больше ее, но меньше твердости плавикового шпата
4	Равна твердости плавикового шпата или больше ее, но меньше твердости апатита
5	Равна твердости апатита или больше ее, но меньше твердости полевого шпата
6	Равна твердости полевого шпата или больше ее, но меньше твердости кварца
7	Равна твердости кварца или больше ее, но меньше твердости топаза
8	Равна твердости топаза или больше ее, но меньше твердости корунда
9	Равна твердости корунда или больше ее, но меньше твердости алмаза
10	Равна твердости алмаза или больше ее

# Соответствие шкал оценивания качества успеваемости студентов ВУЗов

Средневзвешенный балл по национальной шкале	Оценка ETCS	Оценка по национальной шкале
5	A	отлично (зачтено)
4,5...4,99	B	
4...4,49	C	хорошо (зачтено)
3,5...3,99	D	
3...3,49	E	удовлетворительно (зачтено)
2,5...2,99	FX	неудовлетворительно (не зачтено)
2...2,49	F	

## Количественная характеристика физических величин

*Недостатком реперных шкал является* неопределенность интервалов между реперными точками. Поэтому баллы нельзя складывать, вычислять, перемножать и делить.

*Более совершенными являются шкалы, составленные из строго определенных интервалов.*

Например, измерение времени по шкале, разбитой на интервалы, равные периоду обращения Земли вокруг Солнца, - летоисчисление.

*Эти интервалы (годы) делятся в свою очередь на более мелкие – сутки, равные периоду обращения Земли вокруг своей оси.*

Сутки в свою очередь делятся на часы, часы на минуты, минуты на секунды. Такая шкала называется ***ШКАЛОЙ ИНТЕРВАЛОВ.***

## Количественная характеристика физических величин

По шкале интервалов можно судить уже о том, на сколько один размер больше другого, т.е. на шкале интервалов определены такие математические действия, как сложение и вычитание.

*Однако сказать по шкале интервалов во сколько один размер больше другого нельзя.*

Это объясняется тем, что на шкале интервалов известен масштаб, а начало отсчета может быть выбрано произвольно. Поэтому определить по шкале интервалов чему равен тот или иной размер — **НЕВОЗМОЖНО.**

## Количественная характеристика физических величин

Шкалы интервалов иногда получают путем пропорционального деления интервала между двумя реперными точками.

Так, в температурной **шкале Цельсия** один градус является сотой частью интервала между температурой таяния льда, принимаемой за точку отсчета, и температурой кипения воды.

В температурной **шкале Реомюра** этот же интервал разбит на 80 градусов.

В температурной **шкале Фаренгейта** интервал между точкой таяния льда и точкой кипения воды разбит на 180 градусов, причем начало отсчета сдвинуто на 32 °F.



## Количественная характеристика физических величин

Если в качестве одной из двух реперных точек выбрать такую, в которой размер не принимается равным нулю, а равен нулю на самом деле, то по такой шкале уже можно отсчитывать абсолютное значение размера и определить не только на сколько один размер больше или меньше другого, но и во сколько раз он больше или меньше. Эта шкала называется **ШКАЛОЙ ОТНОШЕНИЙ**.

*Примером может служить температурная шкала Кельвина.*

*В шкале Кельвина за начало отсчета принят абсолютный ноль температуры при котором прекращается тепловое движение молекул. Более низкой температуры быть не может.*

## Количественная характеристика физических величин

Второй реперной точкой служит **температура таяния льда**.

По **шкале Цельсия** интервал между этими реперами равен  $273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На **шкале Кельвина** этот интервал разделен на равные части, составляющие  $1/273,16$  интервала.

Каждая такая часть называется *кельвином* и равна градусу Цельсия, что значительно облегчает переход от одной шкалы к другой.

Шкала отношений является наиболее совершенной из всех рассмотренных шкал.

На шкале отношений имеем наибольшее число математических операций: **сложение, вычитание, умножение и деление**.

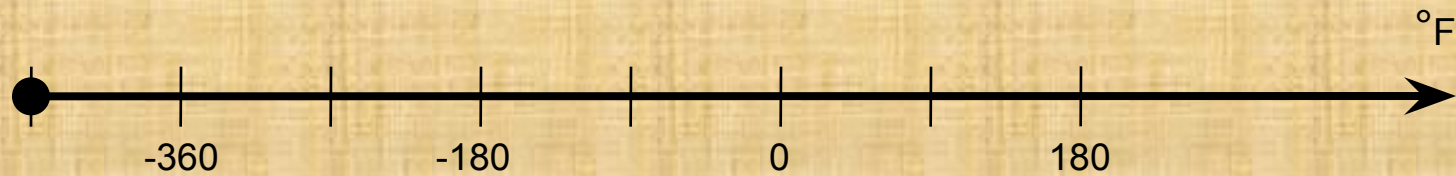
# Количественная характеристика физических величин



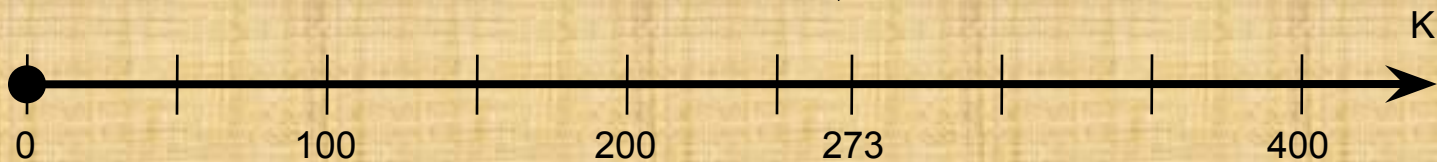
$$^{\circ}\text{R} = 0,8^{\circ}\text{C}$$



$$^{\circ}\text{F} = 1,8^{\circ}\text{C} + 32$$



$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,16$$



**Температурные шкалы Цельсия (°C), Реомюра (°R), Фаренгейта (°F) и Кельвина (K)**

# Единицы измерений физических величин

В зависимости от того, на какие интервалы разбита шкала, один и тот же размер представляется по-разному.

Например:

1 м; 10 дм; 100 см; 1000 мм; 0,001 км – пять вариантов представления одного и того же размера – значения измеряемой величины.

**Значение измеряемой величины** – это выражение её размера в определенных единицах измерения.

Отвлеченное число, входящее в значение измеряемой величины называется **числовым значением**.

*Числовое значение показывает на сколько единиц измеряемый размер больше нуля, или во сколько раз он больше единицы измерения.*

Значение измеряемой величины  $Q$  определяется её числовым значением  $q$  и некоторым значением  $[Q]$ , принятым за единицу измерения:

$$Q = q[Q]$$

Числовые значения измеряемых величин зависят от того, какие используются единицы измерений!

*Увеличение или уменьшение единицы измерения влечет за собой обратнопропорциональное изменение числового значения.*

## Единицы измерения физических величин

Если допустить произвол в выборе единиц, то результаты измерений окажутся несопоставимы между собой, т.е. нарушится единство измерений.

Единицы измерений устанавливаются по определенным правилам и закрепляются законодательным путем

*Наличие законодательной метрологии отличает эту науку от других естественных наук.*

## Единицы измерения физических величин

Совокупность единиц измерения основных и производных величин называется СИСТЕМОЙ ЕДИНИЦ.

В 1832 году французским ученым Гауссом впервые была разработана система единиц, названная им **АБСОЛЮТНОЙ.**

*Основные единицы абсолютной системы: миллиметр, миллиграмм и секунда.*

По мере развития науки и техники возникали все новые и новые системы, пока их обилие не стало тормозом научно-технического прогресса.

В 1960 году Генеральная конференция по мерам и весам приняла Международную систему единиц физических величин – СИ.

С 1 января 1980 года Международная система единиц является обязательной в Украине.

# Десятичные кратные и дольные единицы образуются с помощью множителей и приставок

Множитель	Приставка	
	Наименование	Обозначение
		Русское
$1000000000000000000 = 10^{18}$	экса	Э
$1000000000000000 = 10^{15}$	пета	П
$1000000000000 = 10^{12}$	тера	Т
$1000000000 = 10^9$	гига	Г
$1000000 = 10^6$	мега	М
$1000 = 10^3$	кило	к
$100 = 10^2$	гекто	г
$10 = 10^1$	дека	да
$0,1 = 10^{-1}$	деци	д
$0,01 = 10^{-2}$	санتي	с
$0,001 = 10^{-3}$	милли	м
$0,000001 = 10^{-6}$	микро	мк
$0,000000001 = 10^{-9}$	нано	н
$0,000000000001 = 10^{-12}$	пико	п
$0,000000000000001 = 10^{-15}$	фемто	ф
$0,000000000000000001 = 10^{-18}$	атто	а



# Основные единицы системы СИ

Величина	Единица измерения		Обозначение	
	русское название	международное название	русское	международное
длина	метр	metre (meter)	м	m
Масса	килограмм	kilogram	кг	kg
Время	секунда	second	с	s
Сила тока	ампер	ampere	А	A
Термодинамическая температура	кельвин	kelvin	К	K
Сила света	кандела	candela	кд	cd
Количество вещества	моль	mole	моль	mol

# Производные единицы СИ

Назва величини	Одиниця			
	Назва	Позначення		Співвідношення з одиницями SI
		укр. (рос.)	міжн.	
Площинний кут	радіан	рад	rad	$1 \text{ рад} = 1 \text{ м/м} = 1$
Просторовий кут	стерадіан	ср	sr	$1 \text{ ср} = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2 = 1$
Частота	герц	Гц	Hz	$1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$
Сила, вага	ньютон	Н	N	$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}^2$
Тиск, (механічне) напруження, модуль пружності	паскаль	Па	Pa	$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н}/\text{м}^2$
Енергія, робота, кількість теплоти	джоуль	Дж	J	$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н}\cdot\text{м}$
Потужність, потік випромінення	ват	Вт	W	$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж}/\text{с}$
Електричний заряд, кількість електрики	кулон	Кл	C	$1 \text{ Кл} = 1 \text{ А}\cdot\text{с}$
Електричний потенціал, різниця потенціалів, (електрична) напруга, електрорушійна сила	вольт	В	V	$1 \text{ В} = 1 \text{ Вт}/\text{А}$
Електрична ємність	фарад	Ф	F	$1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл}/\text{В}$
Електричний опір	ом	Ом	$\Omega$	$1 \text{ Ом} = 1 \text{ В}/\text{А}$

# Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Назва величини	Одиниця				Примітки
	Назва	Позначення		Співвідношення з одиницями SI	
		укр. (рос.)	міжн.		
Час <sup>*)</sup>	хвилина	хв (мин)	min	1 хв = 60 с	Не допустимо застосовувати з префіксами
	година	год (час)	h	1 год = 60 хв = 3600 с	
	доба	д (сут)	d	1 д = 24 год = 86400 с	
Площинний кут	градус	...°	...°	1° = (π/180) рад	Не допустимо застосовувати з префіксами. Можна застосовувати, якщо не використано радіан.
	хвилина	...'	...'	1' = (1/60)° = = (π/10800) рад	
	секунда	..."	..."	1" = (1/60)' = = (π/648000) рад	
Об'єм, місткість	літр <sup>**)</sup>	л	l чи L	1 л = 1 дм <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>	Літр є спеціальною назвою кубічного дециметра
Маса	тонна	т	t	1 т = 10 <sup>3</sup> кг	Значення атомної одиниці маси визначено експериментально; її недопустимо застосовувати з префіксами
	(уніфікована) атомна одиниця маси <sup>***)</sup>	а.о.м. (а.е.м.)	u	1 а.о.м. ≈ 1,660540 · 10 <sup>-27</sup> кг	
Енергія	електронвольт	еВ (эВ)	eV	1 еВ ≈ 1,602177 · 10 <sup>-19</sup> Дж	Значення електронвольта визначено експериментально

<sup>\*)</sup> Допустимим є також застосування одиниць часу: тиждень, місяць, рік тощо, — проте їх визначення часто вимагає уточнення.

<sup>\*\*)</sup> Не рекомендується застосовувати під час точного вимірювання. Міжнародне позначення цієї одиниці L використовується тоді, коли є можливість сплутати позначення l з цифрою 1.

<sup>\*\*\*)</sup> Наведене у дужках слово «уніфікована» є необов'язковим до застосування.

# Единицы прошлых лет

Единицы	Наименование и ее дольные	Перевод единицы в СИ или кратные и дольные от них
Длина	1 дюйм 1 фут = 12 дюймов 1 миля сухопутная 1 миля морская	25,39 мм 304,8 мм 1609 м 1853,2 м
Объем	1 л 1 галлон = 3,786 л 1 баррель нефтяной = 42 галлона = 159 л 1 галлон английский	1 дм <sup>3</sup> 3,786 дм <sup>3</sup>  159 дм <sup>3</sup> 4,546 дм <sup>3</sup>
Масса	1 фунт 1 пуд = 40 фунтов 1 гран 1 унция = 437,5 грана 1 карат 1 тройская унция 1 тройский фунт = 12 тройских унций	409,512 г 16, 3805 кг 64, 8 мг 28,35 г 200 мг 31,1035 г 373,242 г
Мощность	1 лошадиная сила	736 Вт

# 5. Измерение физических величин

- 5.1. Разновидности измерений.
- 5.2. Средства измерений.
- 5.3. Метрологические характеристики средств измерений.
- 5.4. Классы точности средств измерений.
- 5.5. Метрологическая надежность средств измерений.
- 5.6. Основы теории измерений.
- 5.7. Погрешности измерений.
- 5.8. Факторы, влияющие на результат измерений.
- 5.9. Исключение влияющих факторов.
- 5.10. Обеспечение единства измерений.

# Разновидности измерений

## Измерения по шкале порядка

Основаны на использовании органов чувств человека – осязания, обоняния, зрения, слуха и вкуса

Органолептические

Основаны на впечатлениях

конкурсы мастеров искусств, соревнования спортсменов по фигурному катанию

Основаны на интуиции

Эвристические

При измерениях по шкале порядка широко используется способ **парного сопоставления**

## *Пример измерений способом попарного сопоставления*

*Составить ранжированный ряд пищевых продуктов по качеству, обозначенных номерами от 1 до 6. Результат дегустации продуктов представлен в таблице, где предпочтению одного продукта над другим соответствует 1, а противоположному отношению – 0.*

<b>i</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Итого</b>
1		1	0	1	1	1	4
2	0		0	1	1	1	3
3	1	1		1	1	1	5
4	0	0	0		0	0	0
5	0	0	0	1		0	1
6	0	0	0	1	1		2

*Ранжированный ряд: №3, №1, №2, №6, №5, №4*

*При более тщательных измерениях способом попарного сопоставления необходимо учитывать равноценность сравниваемых величин.*

# Разновидности измерений

```
graph TD; A[Разновидности измерений] --> B[Многократные измерения]; A --> C[Экспертные измерения]; A --> D[Инструментальные измерения]; A --> E[Автоматизированные]; B --> B1[Основаны на неоднократном измерении одной и той же величины одним экспертом]; C --> C1[Основаны на измерении одной и той же величины несколькими экспертами]; D --> D1[Основаны на измерении с помощью специальных технических средств]; E --> E1[Автоматические];
```

Многократные измерения

Основаны на неоднократном измерении одной и той же величины одним экспертом

Экспертные измерения

Основаны на измерении одной и той же величины несколькими экспертами

Инструментальные измерения

Основаны на измерении с помощью специальных технических средств

Автоматизированные

Автоматические



# Разновидности измерений

Разновидности измерений по способу получения результата

Прямые

Косвенные

Совокупные

Совместные

Прямое – измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

Например, измерение массы на циферблатных весах, температуры термометром, электрического напряжения вольтметром.

# Разновидности измерений

Косвенное – 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.

Например, определение плотности однородного тела по его массе и геометрическим размерам, определение скорости по длине пройденного пути за некоторый период времени.

# Разновидности измерений

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при измерениях различных сочетаний этих величин.

Если 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 сумму любых двух из указанных величин. Тогда, измеряя сочетания величин, получим следующие уравнения:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 = a \\ x_1 + x_3 = b \\ x_2 + x_3 = c \end{cases} \quad \text{где } a, b, c \text{ – результаты измерения суммы соответствующих пар величин}$$

## Разновидности измерений

Искомые величины  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  определяются в результате решения системы уравнений.

Совместные измерения - одновременные измерения двух или нескольких не одноименных величин для нахождения зависимости между ними.

Например, для определения температурного коэффициента линейного расширения измеряют температуру и длину нагретого до разных температур стержня.

# Разновидности измерений



Абсолютное – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и(или) используемых физических констант.

Относительное – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

# Средства измерений

Первоначальные измеряемые физические свойства необходимо обнаружить без участия органов чувств человека, а затем измерять.

Технические устройства, предназначенные для обнаружения (индикации) физических свойств, называются индикаторами.

**Примеры:**

Стрелка магнитного компаса – индикатор напряженности магнитного поля.

Осветительная электрическая лампочка – индикатор электрического напряжения в сети.

Лакмусовая бумага – индикатор активности ионов водорода в растворах.

# Средства измерений

Все технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики, называются **средствами измерений**.

К средствам измерений относятся:

- . Вещественные меры;
- . Измерительные преобразователи;
- . Измерительные приборы;
- . Измерительные установки и системы.

**Вещественные меры** предназначены для воспроизведения физической величины заданного размера, которая характеризуется номинальными значениями.

**Примеры:**

Гиря – мера массы\*

Конденсатор – мера емкости\*

\*при условии, что указывается точность, с которой воспроизводится номинальное значение физической величины.

Измерительные преобразователи – средства, перерабатывающие измерительную информацию в форму, удобную для дальнейшего преобразования, передачи, хранения, обработки, однако недоступной для непосредственного восприятия наблюдателя.

К измерительным преобразователям относятся термопары, измерительные усилители, преобразователи давления и другие виды измерительных устройств.



# Средства измерений

Измерительный прибор представляет собой совокупность преобразовательных элементов, образующих измерительную цепь и отсчетное устройство.

Измерительный прибор не воспроизводит известное значение физической величины.

Измеряемая величина подводится к прибору и воздействует на его первичный преобразователь.

# Средства измерений

Измерительные установки состоят из функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, собранных в одном месте.

В измеряемых системах средства измерений и вспомогательные устройства территориально разобщены и соединены каналами связи.

В измерительных установках и системах измерительная информация может быть представлена в форме, удобной как для непосредственного восприятия, так и для автоматической обработки, передачи и использования в автоматизированных системах управления.

# Метрологические характеристики средств измерений

В ряде случаев требуется знать, какое влияние на результат измерений и их точность оказывают свойства средств измерений. При этом возможно решение следующих задач:

- Априорная оценка точности измерений. В этом случае наряду с другими факторами должна учитываться точность средств измерений.
- Выбор средств измерений, применение которых в известных условиях обеспечит требуемую точность измерений. Эта задача является обратной по отношению к предыдущей.
- Сравнение различных типов средств измерений по их метрологическим свойствам как на этапе проектирования так и в процессе эксплуатации.

- Использование средств измерений в качестве комплектующих при разработке сложных измерительных систем. Оптимальное сочетание должно быть результатом технико-экономического обоснования.
- Определение точности измерительных информационных систем расчетным путем, когда экспериментальное решение этой задачи связано с большими трудностями или вообще невозможно из-за специфики условий работы.  
Эта же задача возникает при проектировании информационных систем.

## Метрологические характеристики

Характеристики свойств средств измерений, оказывающих влияние на результаты измерений и их точность, называются метрологическими характеристиками средств измерений

измерений

Метрологические характеристики являются показателями качества и технического уровня всех без исключения средств измерений.

Метрологические характеристики у конкретного экземпляра средств измерений определяются посредством проведения метрологической аттестации.

Метрологической аттестацией называется всестороннее исследование средства измерений, выполняемое метрологическим органом для определения метрологических свойств этого средства измерений, и выдача документа с указанием полученных данных.

# Метрологические характеристики

Метрологическая аттестация – длительная, сложная и долгая процедура, целесообразность которой в каждом случае должна быть обоснована.

Обычно пользуются сведениями о метрологических характеристиках, которые содержатся в нормативно-технических документах на средства измерений.

Проверка метрологическим органом или специально на то уполномоченным лицом соответствия метрологических характеристик нормам и установление на этой основе пригодности средств измерений к применению называется поверкой.

## Метрологические характеристики

Типовые метрологические характеристики нормируют как номинальные характеристики средств измерений.

Номинальные характеристики представляют в виде формул, таблиц, графиков, чисел.

Для конкретных экземпляров средств измерений нормируются пределы, в которых должна находиться индивидуальная метрологическая характеристика при предусмотренных условиях применения средства измерений.

## Метрологические характеристики

Нормальные и рабочие условия применения средств измерений устанавливаются в нормативно-технических документах.

Нормальными считаются условия, при которых зависимостью метрологических характеристик от изменения значений влияющих величин можно пренебречь.

Для многих типов средств измерений нормальными условиями работы считаются:

Температура –  $(293 \pm 5)$  К

Влажность –  $(65 \pm 15)$  %

Напряжение – 220 В  $\pm 10\%$



# Классы точности средств измерений

Для средств измерений, используемых в повседневной практике, принято деление по точности на классы.

Классом точности называется обобщенная характеристика всех средств измерений данного типа, обеспечивающая правильность их показаний и устанавливающая оценку снизу точности показаний

Классы точности присваиваются типам средств измерений с учетом результатов государственных приемочных испытаний. Средствами измерений с несколькими диапазонами измерений одной и той же величины или предназначенным для измерений разных физических величин могут быть присвоены различные классы точности для каждого диапазона или каждой измеряемой величины.

# Классы точности

В стандартах на средства измерений конкретного типа устанавливаются требования к метрологическим характеристикам, в совокупности определяющим класс точности средств измерений этого типа.

Метрологические характеристики средств измерений должны соответствовать установленным классам точности как при выпуске готовой продукции, так и в процессе эксплуатации.

Обозначения классов точности наносятся на циферблаты, щитки и корпуса средств измерений, приводятся в нормативно-технических документах.

# Классы точности

Обозначение классов точности могут иметь форму заглавных букв латинского алфавита ( M, C и т.д.) или римских цифр ( I, II, III, IV и т.д.) с добавлением условных знаков.

Смысл таких обозначений раскрывается в нормативно-технической литературе.

Если класс точности обозначается арабскими цифрами с добавлением какого-либо условного знака, то эти цифры непосредственно устанавливают оценку снизу точности показаний средства измерений.

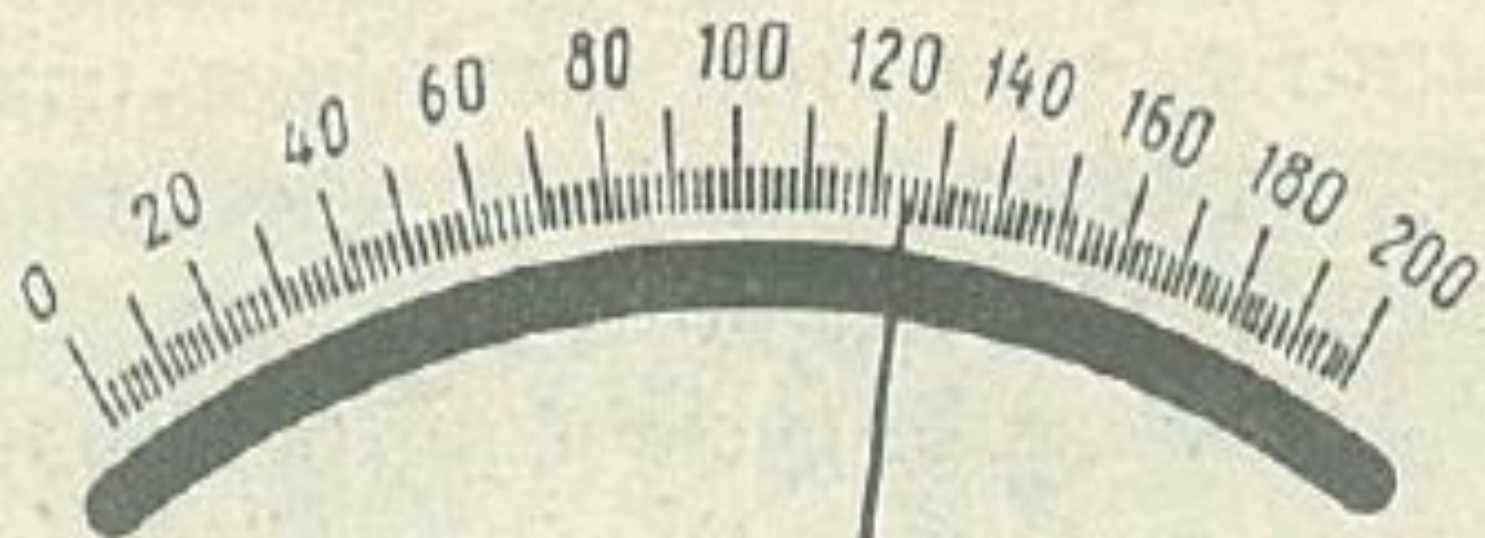
Для средств измерений с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой обозначения класса точности арабской цифрой из ряда (1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4,5; 6)  $\times 10^n$  означает, что значение измеряемой величины не отличается от того, что показывает указатель отсчетного устройства, более чем на соответствующее число процентов от верхнего предела измерений.

# Классы точности

В эксплуатационной документации должна быть ссылка на стандарт или технические условия, в которых установлен класс точности для этого типа средств измерений.

Класс точности является обобщенной характеристикой средств измерений.

Знание класса точности позволяет определить не точность конкретного измерения, а лишь указать пределы, в которых находится значение измеряемой величины.

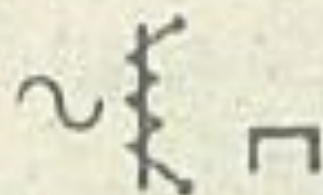


ВОЛЬТМЕТР

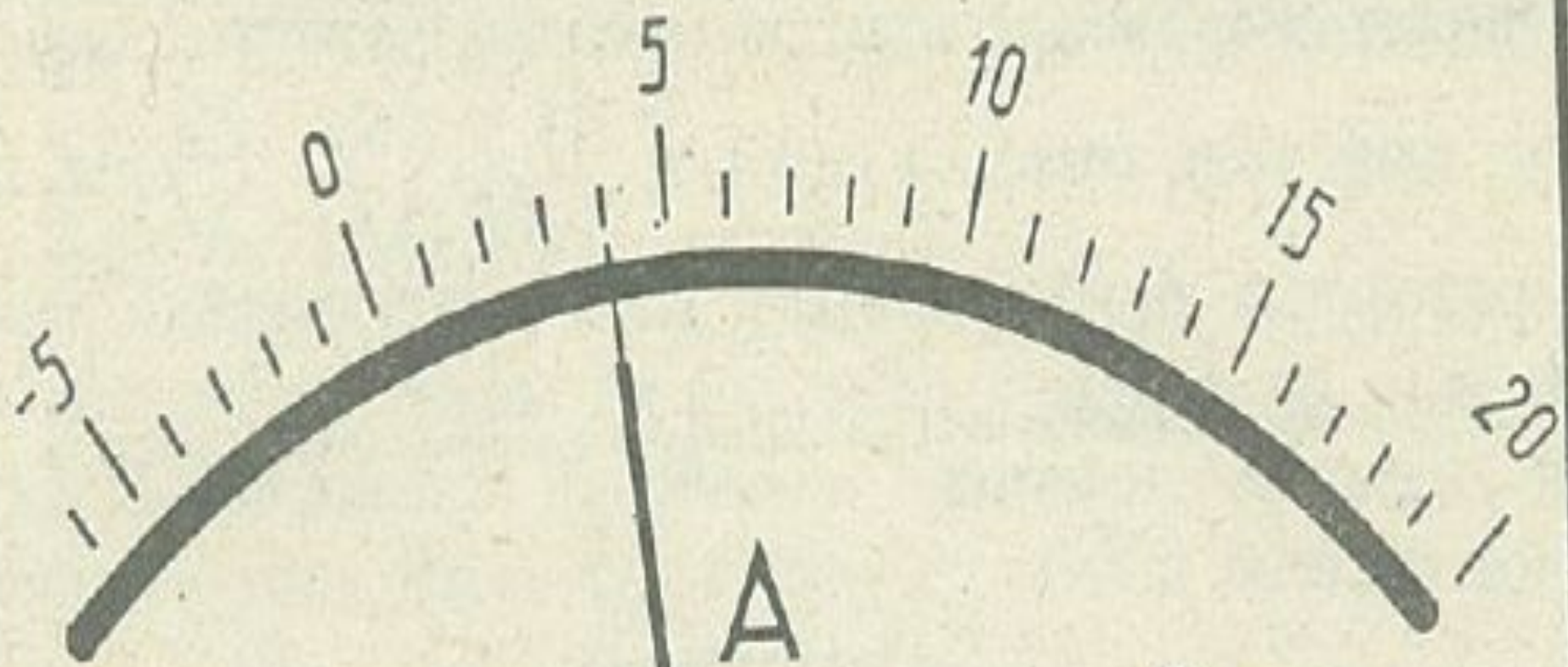
40-100-400 Hz



N 81894 1980



0,5 ГОСТ 8711-78



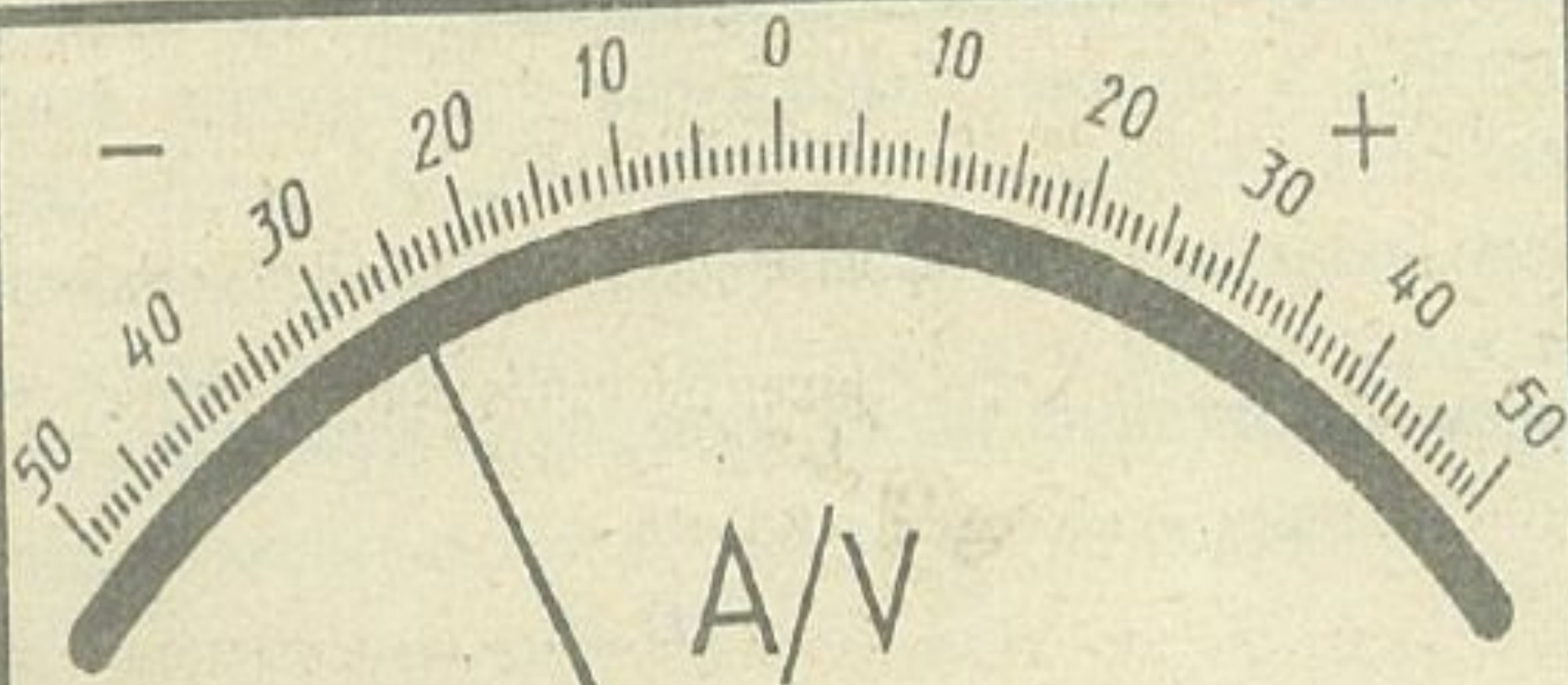
A

-0 n

1,5 ГОСТ 8711-78



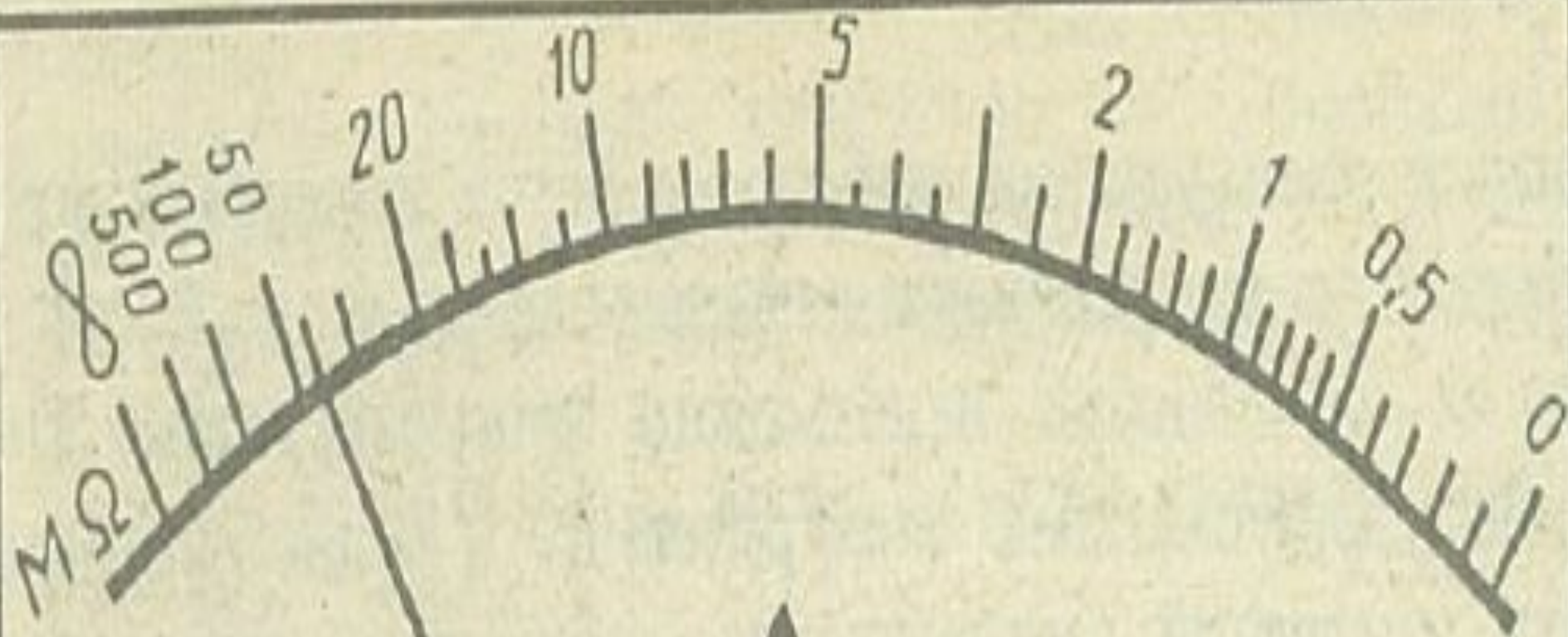
1982 N 296153



A/V

1984  2258

0,02/0,01



M4100/3 500V  
1984 M N511478

(2,5) A



# Метрологическая надёжность средств измерений

**Метрологическая надёжность** - это свойство средств измерений сохранять установленные значения метрологических характеристик в течение определенного времени при нормальных режимах и рабочих условиях эксплуатации.

В процессе эксплуатации любого средства измерений может возникнуть неисправность или поломка, называемые **отказом**.

*По характеру своего проявления отказы бывают **внезапными** (или явными) и **постепенными** (скрытыми).*

# Метрологическая надежность

**Внезапные отказы** сравнительно легко обнаруживаются и после выяснения их причин возникшие неисправности устраняются.

*Однако, внезапные отказы вследствие случайности сложно прогнозировать.*

Для большого числа серийно выпускаемых электрических и радиотехнических элементов средств измерений имеются специальные таблицы, в которых указывается интенсивность их отказов.

Если справочные данные отсутствуют, то их получают экспериментально в результате *испытания элементов на надежность.*

Зная интенсивность отказов каждого элемента можно определить интенсивность отказов средства измерений, состоящего из этих элементов.

# Метрологическая надежность

**Постепенные отказы** заключаются в том, что с течением времени метрологические характеристики перестают соответствовать установленным для них нормам.

Постепенные или скрытые отказы могут быть обнаружены только при очередной поверке средства измерений.

**Межпроверочные** интервалы устанавливаются исходя из требований обеспечения метрологической надежности средства измерений.

Для средств измерений, используемых	Допустимая вероятность метрологического отказа
при технических измерениях	0,2...0,1
при передаче информации о размере единиц	0,15...0,05
при особо ответственных измерениях	0,05...0,01

## Метрологическая надежность

Показателями надежности средств измерений являются:

**$\lambda$** - интенсивность отказов (*количество отказов в единицу времени*);

**$P(t)$** - вероятность безотказной работы (*численная мера степени объективной возможности того, что отказ данного средства измерения не возникнет*);

**$T_{cp}$** - наработка на отказ (*среднее время безотказной работы*).

*Показатели надежности средств измерений определяются по правилам математической теории вероятности.*

# Основы теории измерений

Любое измерение по шкале отношений предполагает сравнение неизвестного размера с известным и выражение первого через второй в кратном или дольном отношении. В качестве известного размера обычно выбирают единицу СИ.

Процедура сравнения неизвестного значения с известным выразится следующим образом:

$$x = Q/[Q]$$

На практике неизвестный размер не всегда непосредственно может быть представлен для сравнения с единицей.

Жидкости и сыпучие вещества предъявляются для взвешивания в таре. В этом случае процедура сравнения имеет вид:

$$x = (Q+m_T)/[Q]$$

Линейные размеры очень маленьких величин могут быть получены только после увеличения их микроскопом или другим прибором. Тогда:

$$x = kQ/[Q],$$

где  $k$  – коэффициент увеличения.

Само сравнение происходит под влиянием множества случайных и неслучайных, аддитивных и мультипликативных факторов.

Точный учет влияющих факторов невозможен, а результат их совместного воздействия непредсказуем.

# Основы теории измерений

Ограничиваясь для простоты только аддитивными воздействиями влияющих факторов, получим следующее уравнение измерений по шкале отношений:

$$x = ((Q+m_T)/[Q]) + \eta,$$

где  $\eta$  – случайное слагаемое.

Полученное уравнение выражает некоторое действие или процедуру сравнения в реальных условиях, которая и является измерением.

Главной особенностью измерительной процедуры является то, что отсчет по шкале отношений получается все время разным.

Это фундаментальное положение является законом природы.

# Основы теории измерений

На основании громадного опыта практических измерений сформулировано утверждение, называемое основным постулатом метрологии:

Отсчет является случайным числом.

На этом постулате основана вся метрология.

Полученное уравнение измерения является математической моделью измерения по шкале отношений.



# Основы теории измерений

Отсчет не может быть представлен одним числом.

Отсчет можно лишь описать словом или математическими символами, представить массивом экспериментальных данных, таблично, графически, аналитическим выражением.

Исчерпывающим описанием отсчета является

распределение вероятности, функция распределения вероятности, гистограмма, полигон или плотность распределения вероятности отсчета,  
получаемые по законам математической статистики.

# Погрешности измерений

Истинное значение физической величины – это значение, идеальным образом отражающее свойства данного объекта как в количественном, так и в качественном отношении.

Истинное значение объективно и не зависит ни от нашего сознания, ни от технических средств, применяемых при экспериментальном его определении.

# Погрешности измерений

В результате экспериментального определения получаем значение физической величины, отличающееся от истинного, так как всегда будет иметь место погрешность.

Погрешностью измерения называется отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность измерения определяется разностью между результатом измерения и истинным значением измеряемой величины:

$$\Delta = x - Q,$$

где  $x$  – результат измерения;

$Q$  – истинное значение измеряемой величины.

Так как истинное значение физической величины неизвестно, то для определения погрешности вместо него принимают действительное значение физической величины, определяемое с точностью, достаточной для оценки погрешности.

## Погрешности измерений

### Действительным значением физической величины

называют ее значение, найденное экспериментально, и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели оно может быть использовано вместо него. Тогда погрешность измерения

$$\Delta = x - Q_d,$$

где  $Q_d$  - действительное значение физической величины.

Таким образом определяется абсолютная погрешность измерения, выражающаяся в единицах измеряемой величины

## Погрешности измерений

**Относительная погрешность измерения** – отношение абсолютной погрешности к истинному или действительному значению измеряемой величины. Относительная погрешность измеряется в долях значения измеряемой величины или в процентах:

$$\delta = \Delta/Qq$$

$$\delta = (\Delta/Qq) * 100\%$$

Использование относительных погрешностей значительно удобнее, так как по значению относительной погрешности можно судить о качестве полученного результата.

## Погрешности измерений

По характеру проявления погрешности измерения могут быть **случайными** или **систематическими**.

Случайные погрешности и их распределение могут быть описаны методами математической статистики и теории вероятности.

Метрология располагает хорошо разработанными методами обработки результатов измерений для оценки доверительных границ истинного значения измеряемых величин.

# Погрешности измерений

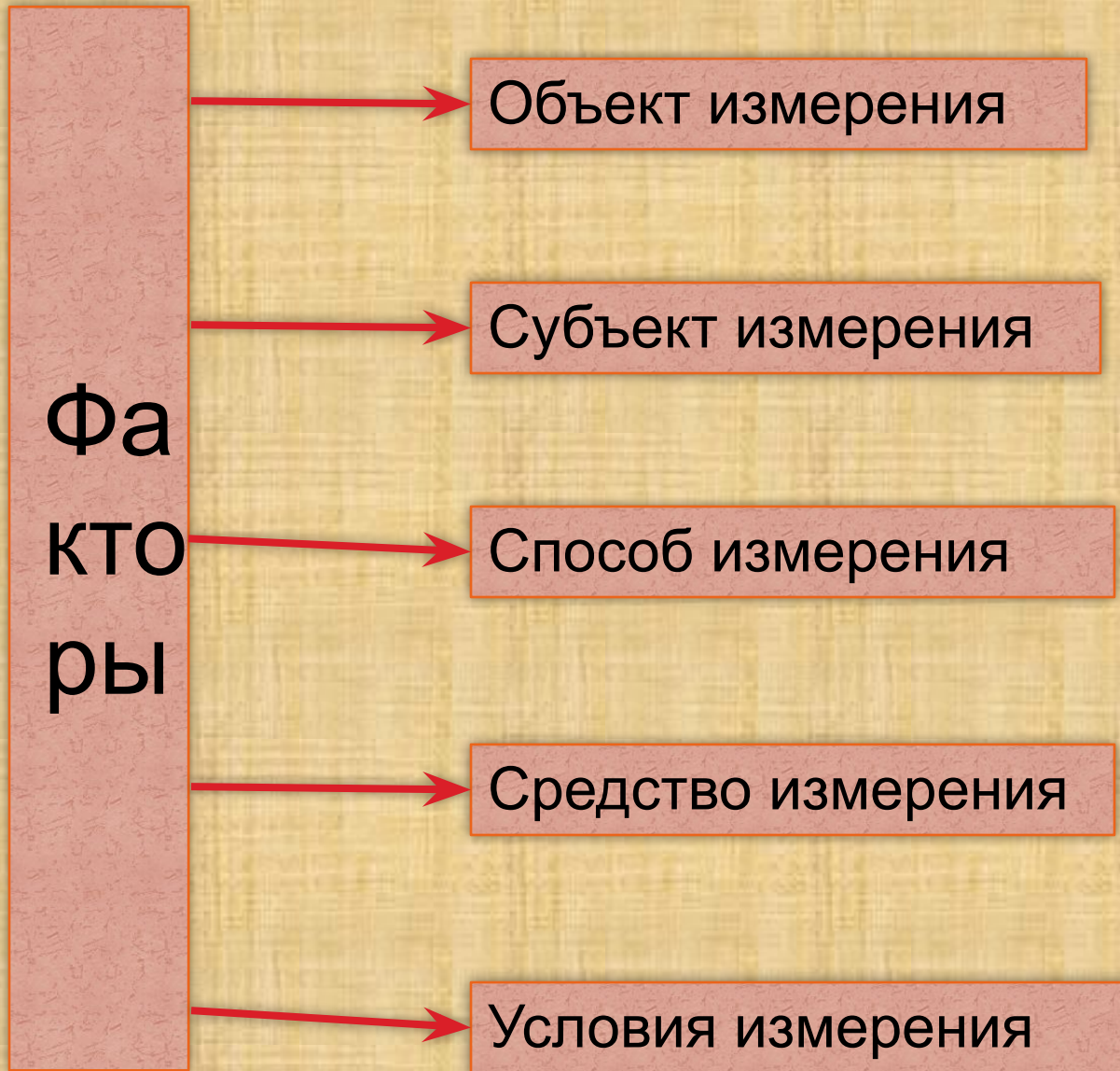
Систематические погрешности постоянны для всей серии наблюдений и являются некоторыми функциями времени. Методы обнаружения и определения систематических погрешностей также хорошо разработаны.

Определенная систематическая погрешность может быть устранена путем введения поправок.

Результаты измерения после введения поправок называются исправленными.

Среди случайных встречаются погрешности, значительно отличающиеся от средних в данном эксперименте. Они называются грубыми погрешностями. Грубые погрешности вызываются резкими изменениями условий измерения, ошибками экспериментатора, неисправностью средств измерений.

# Факторы влияющие на результат измерений





# Факторы влияющие на результат измерений

При подготовке и проведении высокоточных измерений в метрологической практике учитывается влияние:

- Объекта измерения;
- Субъекта(эксперта или экспериментатора);
- Способа измерения;
- Средства измерения;
- Условия измерения.

**Объект измерения** должен быть достаточно изучен.

Перед измерением необходимо представить себе модель исследуемого объекта, которая по мере поступления измерительной информации может изменяться и уточняться. Чем полнее модель соответствует измеряемому объекту или исследуемому явлению, тем точнее измерительный эксперимент.

## Влияющие факторы

**Эксперт или экспериментатор** вносят в процесс измерения элемент субъективизма, который по возможности должен быть уменьшен.

Степень субъективизма зависит от квалификации измерителя, его психофизиологического состояния, соблюдения эргономических требований при измерении.

*К измерениям допускаются лица, прошедшие специальную подготовку, имеющие соответствующие знания, умения и практические навыки.*

Особенно большую роль играет профессиональная подготовка экспертов при **эвристических** и **органолептических** измерениях.

Важное значение имеет также настроение человека, его собранность, внимание, режим труда и отдыха.

## Влияющие факторы

Очень часто измерение одной и той же величины разными **способами** даёт совершенно непохожие результаты. Каждый из этих способов имеет свои *достоинства и недостатки*. В преодолении таких недостатков, в непрерывном совершенствовании измерений состоит искусство и профессионализм экспериментатора.

*Влияние средств измерений на измеряемую величину во многих случаях проявляется как возмущающий фактор.*

*Включение электроизмерительных приборов приводит к перераспределению токов и напряжений в электрических цепях.*

*Ртутный термометр, опущенный в пробирку с охлажденной жидкостью, подогревает её и показывает не первоначальную температуру жидкости, а температуру, при которой устанавливается термодинамическое равновесие.*

Другим влияющим фактором является **инерционность средств измерений**.

При измерении быстропеременных процессов многие измерительные приборы не успевают реагировать на изменение выходного сигнала, в результате чего выходной сигнал оказывается искажённым по сравнению с входным.

Некоторые средства измерений дают постоянно завышенные или постоянно заниженные показания. Это может быть следствием дефектов при изготовлении, некоторой нелинейности преобразования, которое считается линейным, и многих других причин.

*Такие особенности средств измерений выявляются при их **аттестации**.*

К **условиям измерения** относятся температура окружающей среды, влажность, атмосферное давление, электрические и магнитные поля, напряжение в сети питания, вибрация, производственный шум и многое другое.

Наибольшая работоспособность наблюдается в утреннее и дневное время: с 8 до 12 ч. и с 14 до 17ч .

В период с 12 до 14 ч. и в вечерние часы отмечается, как правило, снижение работоспособности, а в ночную смену она минимальна .

# Исключение влияющих факторов

**Способ замещения** состоит в замене измеряемой величины равновеликой ей мерой, значение которой известно. Реакция средства измерений при этом должна остаться такой же.

*Например, при взвешивании груза на равноплечих весах его масса считается равной массе уравновешивающих гирь.*

Однако это справедливо только при **строгом** равенстве плеч, так как равновесие коромысла определяется **не равенством сравниваемых масс**, а **равенством моментов** - равенством произведений силы на плечо.

*На практике плечи строго не равны между собой. Поэтому груз уравновешивается не равным ему по массе набором гирь.*

При использовании способа замещения груз уравновешивается любой тарой, а потом заменяется набором гирь при котором сохраняется равновесие коромысла.

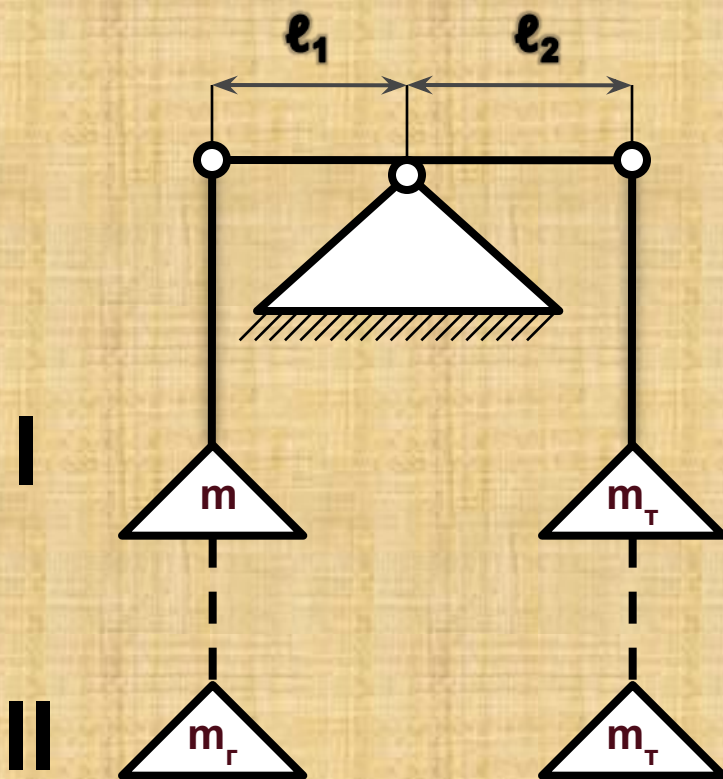
# Исключение влияющих факторов

$m$  - искомый груз;

$m_T$  - масса тары;

$m_\Gamma$  - масса гирь;

$\ell_1, \ell_2$  - плечи.



$$\ell_1 \neq \ell_2$$

$$m \ell_1 = m_T \ell_2 \quad (1)$$

$$m_\Gamma \ell_1 = m_T \ell_2 \quad (2)$$

$$m \cancel{\ell_1} = m_\Gamma \cancel{\ell_1}$$

$$m = m_\Gamma$$

## Исключение влияющих факторов

### **Компенсация влияющего фактора по знаку**

*осуществляется следующим образом. Измерение проводится дважды так, чтобы влияющий фактор оказывал противоположное действие и берётся среднее арифметическое двух опытов.*

*Например, механические узлы некоторых средств измерений имеют люфты, влияние которых компенсируется, если измерительный механизм подводится к измеряемой величине со стороны больших, а затем меньших значений, или наоборот.*



## Исключение влияющих факторов

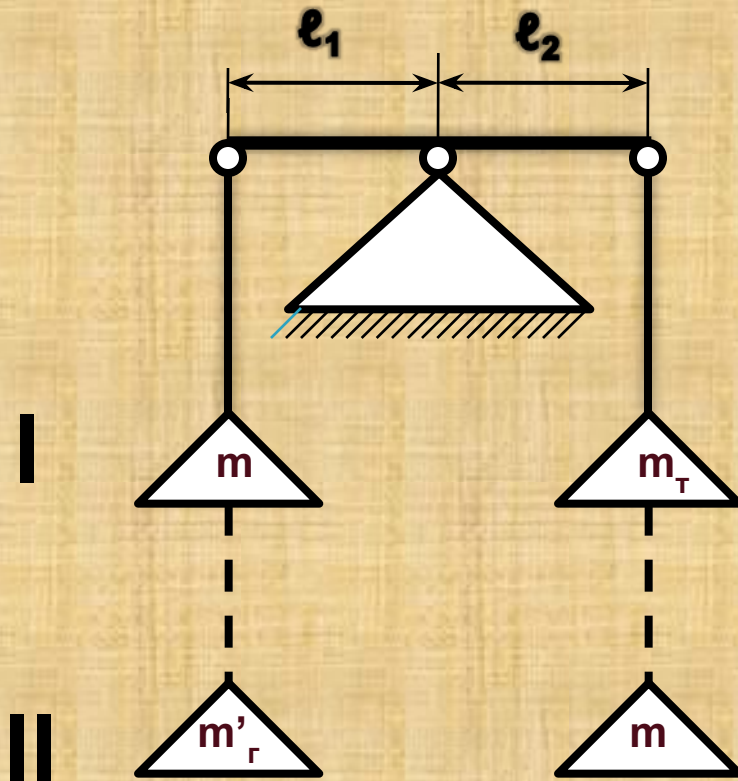
**Метод рандомизации** заключается в такой организации измерений, при которой фактор, вызывающий погрешность, при каждом наблюдении действует по-разному.

### Примеры

1. Для исключения субъективной систематической ошибки меняют операторов после каждого наблюдения.
2. При определении площади основания цилиндра его диаметр измеряют в нескольких направлениях и при дальнейших вычислениях используют среднее арифметическое значение.

# Исключение влияющих факторов

**Способ противопоставления** применяют в тех случаях, когда влияющий фактор приводит не к изменению измеряемого значения на некоторую величину, а к умножению его на некоторый коэффициент



$$m l_1 = m_r l_2 \quad (1)$$

$$l_1 \neq l_2$$

$$m = (l_2 / l_1) m_r$$

$$m'_r l_1 = m l_2 \quad (2)$$

Разделим уравнение 1 на уравнение 2

$$m l_1 / m'_r l_1 = m_r l_2 / m l_2$$

$$m / m'_r = m_r / m$$

$$m^2 = \frac{m_r m'_r}{m_r}$$

$$m = \sqrt{m_r m'_r}$$

С достаточной степенью точности:

$$m = (m_r + m'_r) / 2$$

## Исключение влияющих факторов

*Способ симметричных измерений применяется для исключения прогрессирующего влияния какого-либо фактора, являющегося линейной функцией времени.*

### Примеры.

- ❑ Постепенный нагрев аппаратуры.
- ❑ Падение напряжения в цепи питания, вызванного разрядом аккумуляторов или электрических батарей.
- ❑ Потеря эмиссии катодов радиоламп.

*Способ симметричных измерений заключается в том, что в течение некоторого интервала времени выполняется несколько измерений одного и того же размера, и затем берётся полусумма отдельных результатов, симметричных по времени относительно середины интервала.*

*Если измерения не удаётся организовать так, чтобы исключить или скомпенсировать влияющие факторы, то в показания средств измерений вносится поправка.*

*Поправка может быть аддитивной и мультипликативной, числом или функцией, задаваться графиком, таблицей или формулой.*

# Обеспечение единства измерений

**Под единством измерений** понимается такое их состояние, при котором обеспечивается достоверность измерений, а значения измеряемых величин выражаются в узаконенных единицах.

**Правовой основой** обеспечения единства измерений служит **законодательная метрология** – *свод государственных актов и нормативно-технических документов различного уровня, регламентирующих метрологические правила, требования и нормы.*

**Технической базой** обеспечения единства измерений является система воспроизведения единиц физических величин и передачи информации об их размерах всем без исключения средствам измерений в стране.

# Обеспечение единства измерений

Воспроизведение единиц осуществляется с помощью специальных технических средств, называемых **эталонами**.

Эталон- это техническое устройство, обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы с целью передачи информации о её размере средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Эталон, воспроизводящий единицу с наивысшей в стране точностью, называется **первичным**.

Эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы в особых условиях и заменяющий в этих условиях первичный эталон, называется **специальным**.

Официально утвержденные в качестве исходных для страны первичный или специальный эталоны называются **государственными**.

Государственные эталоны являются национальным достоянием, ценностями государственной значимости.

## Обеспечение единства измерений

К метрологическим видам работ относится непосредственная передача информации о размере единиц к средствам измерений.

Передача информации осуществляется многоступенчато путём сравнения показаний с заведомо более точно известным значением единицы соответствующей физической величины.

*Порядок передачи размера единиц физических величин во всех звеньях метрологической цепи приводятся 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.

**Эталон–свидетель** – вторичный эталон, предназначенный для проверки сохранности государственного эталона и для замены его в случае порчи или утраты.

**Эталон–копия** – вторичный эталон, предназначенный для передачи размеров единиц образцовым средствам измерений.

# Обеспечение единства измерений



# Квалиметрия

- 6.1. Общие сведения о квалиметрии
- 6.2. Показатели качества
- 6.3. Комплексные показатели качества
- 6.4. Оценка уровня качества продукции



# Общие сведения о квалиметрии

## Объекты квалиметрии:

→ Производственные процессы, технологическая система и ее элементы

→ Продукция

→ Услуга, работа

→ Интеллектуальный продукт (технологический метод, научный и программный продукт)

### Основные задачи квалиметрии:

- обоснование номенклатуры показателей качества;
- разработка методов определения показателей качества объектов;
- оптимизация типоразмеров и параметрических рядов изделий;
- разработка принципов построения обобщенных показателей качества и обоснование условий их использования в задачах стандартизации и управления качеством.

# Показатели качества

Качество – философская категория, выражающая неотделимую от бытия объекта его существенную определенность, благодаря которой он является именно этим, а не иным объектом.

Качество есть объективная и всеобщая характеристика объектов, обнаруживающаяся в совокупности их свойств.

Качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее способность удовлетворять определенной потребности народного хозяйства или населения.

Мерами свойств, определяющих качество, служат показатели качества.

Показатель качества продукции – это количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество.

### **Показатели качества:**

#### **1. Показатели назначения**

Характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции для выполнения которых она предназначена, и обуславливает область ее применения.

#### **2. Показатели надежности**

Характеризуют свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохранности.

*К показателям надежности относятся коэффициенты готовности, коэффициент технического использования, вероятность безотказной работы, срок эксплуатации до капитального ремонта.*

### 3. Показатели экономного использования ресурсов

Характеризуют уровень потребления сырья, материалов, топлива и трудовых ресурсов при изготовлении и эксплуатации продукции.

**К показателям экономного использования ресурсов относятся масса изделия, удельный расход топлива, энергоемкость изделия, число обслуживающего персонала.**

# Показатели качества

## 4. Эргономические показатели

Характеризуют качество продукции с точки зрения приспособленности ее к эксплуатации (использованию) человеком.

К эргономическим показателям относятся антропометрические, физиологические и гигиенические показатели.

Антропометрические показатели характеризуют продукцию с точки зрения размеров и форм человеческого тела.

Примеры антропометрических показателей – высота сидения водителя в кабине автомобиля, угол наклона спинки сидения, расстояние до рычагов управления.

# Показатели качества

Физиологические показатели характеризуют продукцию с точки зрения силовых возможностей человека, возможностей его органов чувств – зрения, слуха.

Например, усилие на рукоятке механизма на рулевом колесе, различимость информации на датчиках.

Гигиенические показатели характеризуют гигиенические свойства продукции – уровень шума, вибраций, излучений, температуру, влажность, запыленность.

## 5. Эстетические показатели

Характеризуют эстетические свойства продукции – рациональность формы, цвета, целостность композиции.

Эстетические показатели обычно оцениваются в баллах, их контроль осуществляется экспертными комиссиями.

# Показатели качества

## 6. Экологические показатели

Характеризуют уровень вредных воздействий на природу при эксплуатации или потреблении продукции. Эти воздействия проявляются в виде вредных выбросов в атмосферу, загрязнения воды и земли.

Пример – содержание углекислого газа в выхлопных газах автомобиля.

## 7. Показатели безопасности

Характеризуют безопасность обслуживающего персонала при эксплуатации или потреблении продукции.

Например, время срабатывания защиты от короткого замыкания, прочность кабины автомобиля, устойчивость трактора, предназначенного для использования в гористой местности.



# Показатели качества

Кроме перечисленных групп показателей для характеристики качества продукции могут применяться показатели, характеризующие другие свойства, обусловленные спецификой как продукции, так и условий ее применения. Например, показатели стандартизации и унификации, показатели технологичности, наукоемкости, транспортабельности и т.п.

# Комплексные показатели качества

Показатели качества

```
graph TD; A[Показатели качества] --> B[Единичные]; A --> C[Комплексные]; B --> D[Относятся к одному из свойств, определяющих качество]; C --> E[Относятся к нескольким свойствам, определяющим качество];
```

Единичные

Комплексные

Относятся к одному из свойств, определяющих качество

Относятся к нескольким свойствам, определяющим качество

## Комплексные показатели

Комплексные показатели качества могут быть связаны с единичными через функциональные зависимости, отражающие объективные законы природы, или некоторой комбинацией единичных показателей.

Если комплексный показатель качества невозможно выразить через единичные с помощью объективной функциональной зависимости, то применяют субъективный способ образования комплексных показателей по принципу среднего взвешенного.

## Комплексные показатели

При образовании комплексных показателей качества используется среднее взвешенное арифметическое, гармоническое, квадратическое и геометрическое.

При определении комплексных показателей качества важность или ценность каждого единичного показателя учитывается с помощью весовых коэффициентов  $q_i$ .

Определение весовых коэффициентов в квалиметрии производится обычно экспертным методом, исходя из условия:

$$\sum_{i=1}^n q_i = 1$$

# Комплексные показатели качества

## Среднее арифметическое взвешенное

$$\hat{Q} = \sum_{i=1}^n q_i Q_i$$

$Q_i$  – единичный показатель качества;

$q_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го показателя;

$n$  – количество единичных показателей.

Среднее арифметическое взвешенное используется при объединении однородных единичных показателей с небольшим разбросом слагаемых.

# Комплексные показатели качества

## Среднее гармоническое взвешенное

$$\tilde{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{q_i}}$$

Среднее гармоническое взвешенное применяют при объединении однородных единичных показателей с большим разбросом слагаемых.

Среднее квадратическое взвешенное используется в методе наименьших квадратов и определяется по

формуле:  $Q = \sqrt{\sum_{i=1}^n q_i^2 Q_i^2}$

# Комплексные показатели качества

## Среднее геометрическое взвешенное

$$\bar{Q} = \prod_{i=1}^n Q_i^{q_i}$$

Среднее геометрическое взвешенное является наиболее распространенным и универсальным показателем.

Среднее геометрическое взвешенное применяется при комплексировании неоднородных показателей качества, в том числе разнородной продукции, соответствующих разным условиям ее использования и имеющим большой разброс.

## Комплексные показатели

Суммирование единичных показателей качества с учетом их весовых коэффициентов производится в соответствии с правилами теории размерностей.

При образовании комплексных показателей качества обычно от абсолютных значений единичных показателей переходят к относительным. В этом случае абсолютное значение комплексного показателя получается безразмерным.



## Комплексные показатели

Основной недостаток комплексных показателей заключается в том, что низкие значения одних единичных показателей могут компенсироваться высокими значениями других.

Однако недопустимо компенсировать низкие значения главных, важнейших показателей высокими значениями второстепенных. Для исключения такой возможности комплексный показатель качества домножают на коэффициент вето.

Благодаря коэффициенту вето комплексный показатель качества падает до нуля, если хотя бы один из важнейших единичных показателей оказывается неприемлемым.

# Комплексные показатели

Разновидностью комплексного показателя качества является интегральный показатель качества.

Интегральный показатель качества это технико-экономический показатель качества продукции, основанный на сопоставлении суммарного полезного эффекта от эксплуатации или потребления продукции и суммарных затрат на создание и эксплуатацию или потребление продукции:

$$K_{и} = Э/З$$

Э – суммарный эффект за срок службы продукции, выражается в натуральной или денежной форме;

З – суммарные затраты.

$$З = З_{к} + З_{э};$$

$З_{к}$  - капитальные затраты на создание или приобретение продукции;

$З_{э}$  - сумма затрат на эксплуатацию или потребление продукции за срок ее службы.

# Оценка уровня качества продукции

Под оценкой уровня качества продукции понимается результат оценивания, то есть результат сопоставления показателей качества оцениваемой продукции с базовым значением.

Оценка уровня качества представляется в количественной и качественной форме.

В количественной форме оценка выражается одним числом – значением комплексного показателя качества.

В качественной форме оценка представляется в виде утверждения о том, соответствует ли продукция уровню требований определенного рынка, превосходит их или уступает им.

Базовыми значениями являются показатели, выбранные для сравнения. Как правило, это показатели аналогов.

## Оценка уровня качества

Для оценки качества используют расчетный, инструментальный, экспертный, органолептический, комбинаторный и социологический методы.

Расчетный метод базируется на использовании информации, получаемых с помощью теоретических или эмпирических зависимостей. Расчетный метод используется при проектировании продукции, когда последняя еще не может быть объектом экспериментальных исследований.

Инструментальный метод основывается на использовании технических средств измерений и является наиболее распространенным во всех отраслях народного хозяйства. Для измерения чаще всего используется шкала отношений.

# Оценка уровня качества

Экспертный метод измерения показателей качества применяется, когда использование технических средств измерений невозможно, сложно или экономически нецелесообразно. Чаще используется при определении эргономических и эстетических показателей.

Измерительные шкалы – шкала порядка и интервалов.

Органолептический метод строится на использовании информации, получаемой в результате восприятия органов чувств человека: зрения, слуха, обоняния, осязания и вкуса.

Комбинаторный метод сочетает инструментальное и органолептическое измерения качества.

Социологический метод измерения качества строится на массовых опросах населения или отдельных социальных групп, члены которых выступают в качестве экспертов.