

# Метрология

Метрология (метрон–мера, логос–учение (греч.))  
–  
наука об измерениях, методах и средствах  
обеспечения их единства и способах  
достижения требуемой точности.

# Основные задачи метрологии

установления единиц измерений физических величин

разработка и производство государственных и рабочих эталонов  
и рабочих средств измерений

контроль технического состояния средств измерений

обеспечение единства измерений и единообразных средств  
измерений

разработка методов оценки погрешности средств измерений

воспроизводство, хранение и передача размеров  
единиц измерений от рабочих эталонов рабочим средствам измерений

разработка стандартных образцов состава и свойств веществ и  
материалов

создание стандартных справочных данных о физических константах  
и свойствах веществ и материалов и некоторые

**М  
Е  
Т  
Р  
О  
Л  
О  
Г  
И  
Я**

Научная (теоретическая,  
фундаментальная)

Прикладная (практическая)

законодательная

## НАУЧНАЯ (теоретическая)

Научная метрология занимается вопросами фундаментальных исследований, созданием систем единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерений. Она является основной базой для создания измерительной техники.

## **ПРИКЛАДНАЯ** (практическая)

Прикладная метрология занимается вопросами практического применения в различных сферах деятельности человека результатов теоретических исследований, разработкой, созданием, производством и практическим применением средств измерений.

## ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ

Законодательная метрология включает в себя совокупность взаимообусловленных правил и норм, направленных на обеспечение единства измерений, которые возводятся в ранг правовых положений, имеют обязательную силу и находятся под контролем государства. Все эти нормы, правила и требования устанавливаются в законодательном порядке техническими регламентами, государственными и иными регламентами, а также подтверждением соответствия Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ), Федеральным законом «Об основах технического регулирования в Российской Федерации» и другими обязательными к применению нормативно-техническими документами.

знать общие метрологические  
правила и нормы

освоить методы и  
средства измерений

освоить основные принципы  
построения измерений (СИ)  
физических величин (ФВ)



## Основные термины и определения

Основные термины и определения к ним даны в официально за действованном на территории нашей страны и стран СНГ с 1 января 2001 г. нормативном документе, называемом

«РМГ 29-99. Рекомендации по межгосударственной стандартизации ГСИ.

Метрология. Основные термины и определения».

Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах физических объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью.

Средствами метрологии являются совокупность СИ и метрологических НТД, обеспечивающих их рациональное практическое использование.

НТД - нормативно-техническая документация

Все физические объекты окружающего нас материального мира отличаются друг от друга характерными им свойствами.

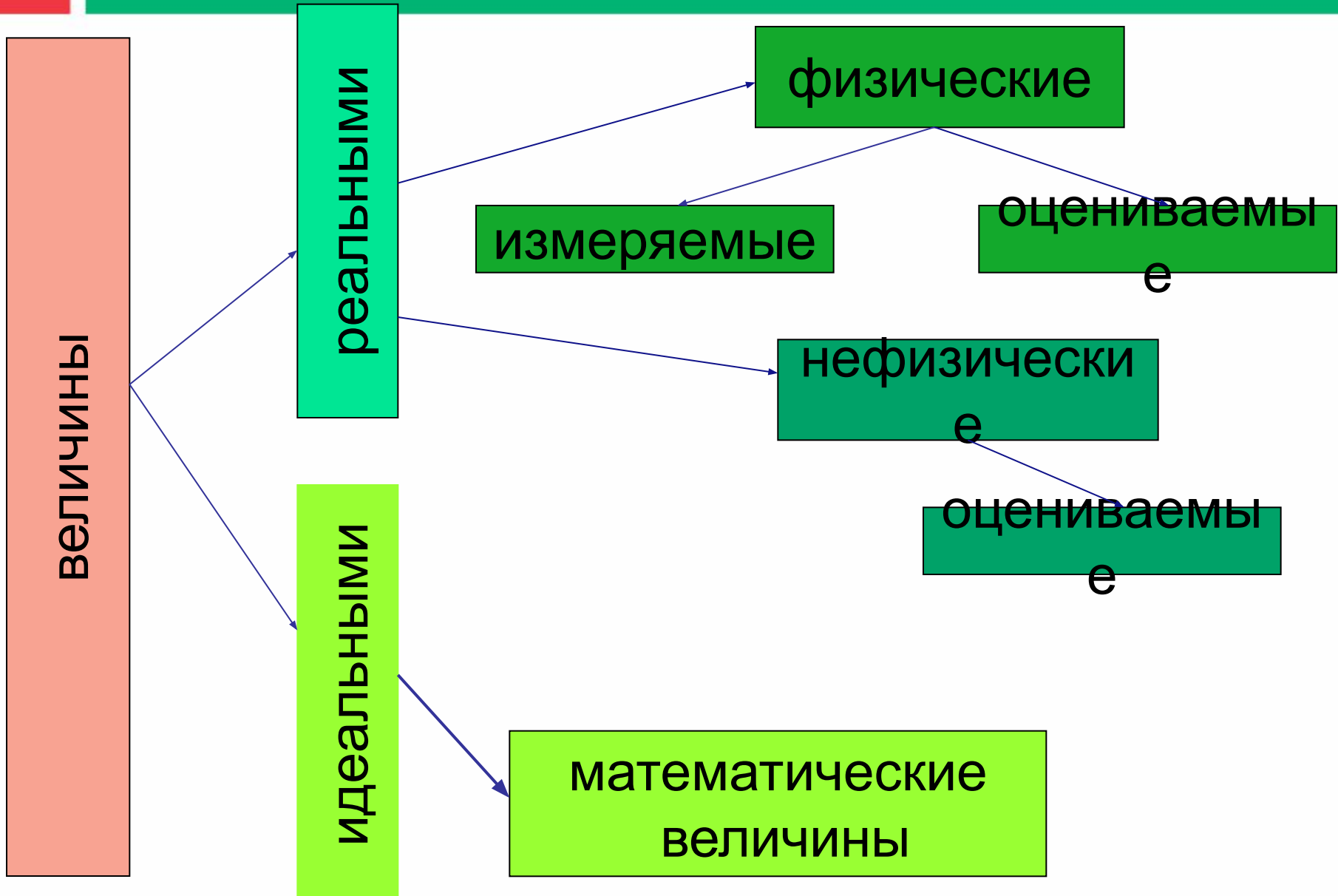
**Свойство** есть категория философская, отражающая такую сторону объекта (процесса, вещества, работы, услуги и др.), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами и обнаруживается в его отношениях к ним.

**Свойство** – категория качественная.

Для количественного описания различных свойств физических объектов вводится понятие величина.

**Величина** есть свойство чего-либо, что может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе, количественно.

Она не может существовать сама по себе, может иметь место лишь постольку, поскольку существует объект со свойствами, выраженными данной величиной.



**Физическая** величина определяется как величина, свойственная материальным объектам (веществам, изделиям, услугам, процессам и т.д.), изучаемым в естественных и технических науках.

**Измеряемые** ФВ могут быть выражены количественно в виде определенного числа установленных единиц измерений

Физические величины, для которых отсутствует единицы измерения, могут быть только **оценены**.

**К нефизическим величинам** относят величины, характеризующие общественно-гуманитарные науки (философия, филология, социология, история и т.д.)

Нефизические величины в принципе не могут иметь единицы измерения, и поэтому, они могут быть только **оценены**.

Изучение свойств нефизических величин и их оценивание в задачи метрологии не входит

**К идеальным относятся** математические величины, и они являются обобщением конкретных реальных понятий.

По рекомендации РМГ 29-99 **физической величиной** называется одно из свойств физического объекта (вещества, изделия, процесса, работ, услуг и др.), **общее в качественном** отношении для многих физических объектов, но в **количественном отношении**, - **индивидуальное** для каждого из них.



Согласно МИ 2247 – 93

**Измерение ФВ** – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу измерения ФВ, и обеспечивающих нахождения соотношения измеряемой величины с ее единицей измерения и получение значения этой величины.

МИ - методика измерений

## **ИЗМЕРЯЕМАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА**

Физическая величина, подлежащая измерению, измеряемая или измеренная в соответствии с основной целью измерительной задачи

## **РАЗМЕР ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ**

Количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу

## **ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ $Q$**

это оценка ее размера в виде  
некоторого числа принятых для  
нее единиц измерений.

## ЧИСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ $q$

отвлеченное число,  
выражающее отношение значения величины  
к соответствующей единице измерения  
данной физической величины.

Выражение вида  $Q = q[Q]$   
называют основным уравнением измерения.  
 $q$  – число, полученное измерением;  
 $[Q]$  – ЕИ измеренной физической величины.

ЕИ - единица измерения

## ИСТИННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину.

Примечание - Истинное значение физической величины может быть соотнесено с понятием абсолютной истины.

Оно может быть получено только в результате бесконечного процесса измерений с бесконечным совершенствованием методов и средств измерений

## ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Значение физической величины,  
полученное экспериментальным путем  
и настолько близкое к истинному значению,  
что в поставленной измерительной задаче может  
быть использовано вместо него



## **ВЛИЯЮЩАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА**

Физическая величина, оказывающая влияние на размер измеряемой величины и (или) результат измерений

## СИСТЕМА ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

С целью изучения метрологических особенностей  
физические величины подразделяют на

вещественны  
е

энергетически  
е

величины,  
характеризующие  
протекание процессов  
во времени.

## вещественные

описывающие физико-механические  
и физико-химические свойства веществ,  
материалов, изделий из них.

Например, масса, плотность, электрические сопротивления

описывающие э **энергетические** а процессов  
преобразования, передачи и использование  
энергии

(мощность, напряжение, ток, крутящий момент, угловая скорость и  
др.).

Это активные величины и они могут быть  
измерены

величины, характеризующие протекание процессов во времени.

к ним относятся корреляционные функции, показатели спектрального анализа веществ и др.

## По принадлежности к видам протекающих процессов физические величины бывают

пространственно-  
временные

механические

тепловые

световые

акустические

электрические

гидравлические

магнитные

пневматические

химические

биологические

физические

ионизирующих излучений

атомной и ядерной физики

По взаимной зависимости физические величины  
подразделяются

Основные  
(условно независимые)

дополнительные

Производные  
(условно  
зависимые)

## ОСНОВНАЯ ФВ

Физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы

длина -  $L$

масса -  $M$

время -  $T$

силы электрического тока -  $I$

термодинамическая температура -  $\Theta$ ,

количества вещества -  $N$

сила света -  $J$



## ПРОИЗВОДНАЯ ФВ

Физическая величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы.

скорость  $v$  поступательного движения, определяемая (по модулю) Уравнением  $v = dl / dt$ , где  $l$  - путь,  $t$  - время; сила  $F$ , приложенная к материальной точке, определяемая (по модулю) уравнением  $F = ma$ , где  $m$  - масса точки,  $a$  - ускорение, вызванное действием силы  $F$

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ

Термин "дополнительная единица"  
был введен в 1960 г.

Дополнительными единицами являлись  
"радиан" и "стерадиан".

XIX ГКМВ это понятие упразднено

ГКМВ - Генеральная конференция по мерам и весам

## РАЗМЕРНОСТЬ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

## Примечания

1. Степени символов основных величин, входящих в одночлен, в зависимости от связи рассматриваемой физической величины с основными, могут быть целыми, дробными, положительными и отрицательными.

Понятие размерность распространяется и на основные величины.

Размерность основной величины в отношении самой себя равна единице, т.е. формула размерности основной величины совпадает с ее символом.

2. В соответствии с международным стандартом ИСО 31/0, размерность величин следует обозначать знаком **dim (dimension)**.

В системе величин

LMT размерность величины  $x$  будет:

$\dim x = L^l M^m T^t$ , где  $L$ ,  $M$ ,  $T$  - символы величин, принятых за основные  
(соответственно длины, массы, времени)

## ПОКАЗАТЕЛЬ РАЗМЕРНОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Показатель степени, в которую возведена размерность основной физической величины, входящая в размерность производной физической величины.

Показатели степени  $l$ ,  $m$ ,  $t$  в формуле, называют показателями размерности производной физической величины  $x$ .

Показатель размерности основной физической величины в отношении самой себя равен единице

По наличию размерности физические величины

```
graph TD; A[По наличию размерности физические величины] --> B[размерные]; A --> C[безразмерные];
```

размерные

безразмерные

## РАЗМЕРНАЯ

Физическая величина, в размерности которой хотя бы одна из основных физических величин возведена в степень, не равную нулю.

Сила  $F$  в системе LMTIΘNJ  
является размерной величиной:  
$$\dim F = LMT^{-2}$$



## БЕЗРАЗМЕРНА Я

Физическая величина, в размерность которой основные физические величины входят в степени, равной нулю.

Безразмерная величина в одной системе величин может быть размерной в другой системе.  
Например, электрическая постоянная  $\epsilon_0$  в электростатической системе является безразмерной величиной, а в системе величин СИ имеет размерность  $\dim \epsilon_0 = L^{-3} M^{-1} T^4 I^2$

Совокупность, основных, дополнительных и производных единиц измерений ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами называется системой единиц измерений ФВ.

До настоящего времени во всех странах мира создавались и применялись различные системы измерений ФВ (СГС, МКГСС, СГСЭ, СГСМ, МКСА, МТС, SY и др.).

В настоящее время в РФ используется система единиц измерений **SY**, введенная ГОСТ 8.417-81.

В ней в качестве основных единиц измерений приняты: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль и кандела.

- **Генеральные конференции по мерам и весам**, международные конференции представителей стран-участниц *Метрической конвенции*, созываемые не реже 1 раза в шесть лет и имеющие целью «обсуждение и принятие необходимых мер по распространению и усовершенствованию метрической системы».
- На конференциях заслушиваются отчёты о деятельности Международного комитета мер и весов и о работе Международного бюро мер и весов за период между конференциями, принимаются решения по метрологическим вопросам и производится переизбрание половины состава Международного комитета мер и весов.

-

- К 1970 состоялось 13 конференций, на них был принят ряд важных решений.
- 1-я конференция (1889) установила международные прототипы *метра* и *килограмма* .
- 2-я конференция (1895) на основе работ, выполненных в Международном бюро мер и весов американским учёным А. Майкельсоном и французским учёным Р. Бенуа, утвердила значение метра в длинах световых волн.
- 3-я конференция (1901) провела чёткое разграничение понятий массы и веса и приняла значение для нормального ускорения свободного падения.
- На 6-й конференции (1921) пересмотрена Метрическая конвенция 1875, и деятельность Международного бюро мер и весов была значительно расширена.

- На 7-й конференции (1927) установлено соотношение между метром и длиной световой волны красной линии кадмия и введена *температурная международная практическая шкала* ,
- 8-я конференция (1933) поручила Международному комитету мер и весов установить срок для перехода от международных электрических единиц к абсолютным, что и было осуществлено с 1 января 1948.
- 9-я конференция (1948) приняла новое определение единицы силы света - *канделы* - через свечение полного излучателя при температуре затвердевания платины.
- На 10-й конференции (1954) установлены термодинамическая температурная шкала с одной реперной точкой и основные единицы *Международной системы единиц (СИ)*,

- 11-я конференция (1960) утвердила Международную систему единиц - СИ, приняла определение метра через длину световой волны и астрономическое определение секунды как определённой доли тропического *года* .
- 13-я конференция (1967) приняла определение секунды через число периодов излучения атома цезия  $^{133}\text{Cs}$ .

-

# ШКАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая исходной основой для измерений данной величины

Международная температурная шкала, состоящая из ряда реперных точек, значения которых приняты по соглашению между странами Метрической Конвенции и установлены на основании точных измерений, предназначена служить исходной основой для измерений температуры



# ШКАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УСЛОВНЫЕ

НАИМЕНОВАНИЙ

ПОРЯДКА

МЕТРИЧЕСКИЕ  
(ФИЗИЧЕСКИЕ)

ИНТЕРВАЛОВ

ОТНОШЕНИЙ

АБСОЛЮТНАЯ

# УСЛОВНАЯ ШКАЛА ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

(*неметрическая шкала*)

Шкала физической величины,  
исходные значения которой выражены  
в условных единицах

Шкала твердости минералов Мооса,  
шкалы твердости металлов  
(Бринелля, Виккерса, Роквелла и др.)

## ШКАЛА НАИМЕНОВАНИЙ

характеризуется только отношением эквивалентности различных качественных свойств ФВ. Такие шкалы не имеют начала отсчета, которым, как правило, является нуль шкалы.

Она также не имеет единицы измерения, в них отсутствуют отношения сопоставления типа «больше-меньше».

шкала цветов, представляемая в виде атласа цветов. При этом измерение заключается в простом сравнении визуальным наблюдением эквивалентности цвета испытуемого объекта с одним из эталонных образцов из состава атласа цветов.

## ШКАЛА ПОРЯДКА

описывает свойства физических величин, как отношением эквивалентности,

так и отношением порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления свойства объекта измерения.

В таких шкалах в ряде случаев может быть нуль – начало отсчета, но принципиальным для них является отсутствие единицы измерения, поскольку невозможно установить, в какое число раз больше или меньше проявляется свойства величины.

Эта шкала позволяет упорядоченно расположить (ранжировать) объект измерения относительно определенного его свойства, т.е. расположить в порядке убывания или возрастания

данного свойства. Результаты же оценивания по шкале порядка не могут подвергаться никаким арифметическим действиям. Но, все-таки, небольшое усовершенствование этой шкалы позволит применить ее для числовых операций величин в тех случаях, когда отсутствует ее единица измерения.

Отправным (реперным) точкам ранжированного ряда могут быть поставлены цифры, называемые баллами и тогда появится возможность оценки, «измерения» данного свойства объекта в баллах, по натуральной шкале.

Например в 1805 г. английским гидрографом картографом Бофортом была предложена натуральная шкала скорости ветров в «баллах Бофорта».

В ней всего 12 баллов от «штиль, тихий, легкий, и т.д. до урагана».

По таким шкалам до сих пор оцениваются интенсивность сейсмических волн при землетрясениях, морское волнение, твердость минералов, сложность пожаров, оценка знаний студентов и учеников и т. д.

Основным недостатком этой шкалы является полное отсутствие уверенности, что интервалы между выбранными реперными точками являются эквидистантными (равновеликими).

В такой шкале невозможно установить единицу измерения и оценить величину погрешности измерения.

## ШКАЛА ИНТЕРВАЛОВ (РАЗНОСТЕЙ)

описывает свойства ФВ не только с помощью отношений эквивалентности и порядка, но и с применением суммирования и пропорциональности интервалов между количественными проявлениями свойств.

Эти шкалы могут иметь условные нули – реперты и единицы измерения.

На шкале интервалов откладывается разность значений физических величин.

Примерами шкал интервалов являются шкалы температур. На температурной шкале Цельсия за начало отсчета разности температур принята температура таяния льда.

Для удобства интервал между температурой таяния льда и температурой кипения воды разделен на 100 равных интервалов – градусов.

Деление шкалы интервалов на равные части – градации, устанавливает единицу ФВ, что позволяет не только выразить результат измерения в числовой мере, но и оценить погрешность измерения.



Результаты измерений по шкале интервалов можно складывать друг с другом и вычитать друг из друга, т.е. определять, на сколько одно значение физической величины больше или меньше другого.

Однако определить по этой шкале, во сколько раз одно значение величины больше или меньше другого, невозможно, поскольку на шкале не определено начало отсчета ФВ.

## ШКАЛА ОТНОШЕНИЙ

представляет собой интервальную шкалу с естественным началом.

Если, например, за начало температурной шкалы принять абсолютный нуль (более низкой температуры в природе быть не может), то по такой шкале уже можно отсчитывать абсолютное значение температуры и определять не только, насколько температура  $T_1$  одного тела больше температуры  $T_2$  другого, но и во сколько раз больше или меньше, т.е.  $T_1/T_2=n$

В общем случае, при сравнении между собой двух величин значения  $n$  образуют шкалу отношений. Она охватывает интервал значений  $n$  от 0 до  $\infty$  и, в отличие от шкалы интервалов, не содержит отрицательных значений. Эта шкала является самой совершенной и наиболее информативной. Результаты измерений по этой шкале можно складывать между собой, вычитать, перемножать или делить. Шкала отношений описывается основным уравнением измерения.

## АБСОЛЮТНАЯ ШКАЛА.

Она обладает всеми признаками шкал отношений, но дополнительно имеет естественное однозначное определение единицы измерения и не зависит от принятой системы единиц измерения.

Такие шкалы соответствуют относительным величинам: коэффициенту усиления, ослабления и др.

Для образования многих производных единиц в системе SI используются и счетные единицы абсолютных шкал.

Практическая реализация шкал измерений осуществляется путем стандартизации самих шкал и единиц измерений.

# ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Измерения, как экспериментальные процедуры, разнообразны и классифицируются по разным признакам (РМГ 29-99):







По способу нахождения значения измеряемой физической величины различают измерения

прямые

косвенные

совместные

совокупные

## **ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ**

это измерение, при котором искомое значение физической величины находят непосредственно по показаниям СИ.

## КОСВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

измерение, при котором искомое значение физической величины находят расчетом на основании известной функциональной зависимости между этой величиной и величинами, связанными с искомой, и определяемыми посредством прямых измерений.

Например, мощность рассеяния на резисторе можно вычислить измерив величины тока и сопротивления резистора прибором и используя формулу закона Ома

## СОВМЕСТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

одновременные измерения двух или нескольких разнородных физических величин для установления функциональной зависимости между ними.

Например,  
одновременное измерение электрического сопротивления проводника и его температуры для установления зависимости сопротивления от температуры.

## СОВОКУПНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

производимые одновременно нескольких одноименных величин, при которых искомые значения физической величины находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

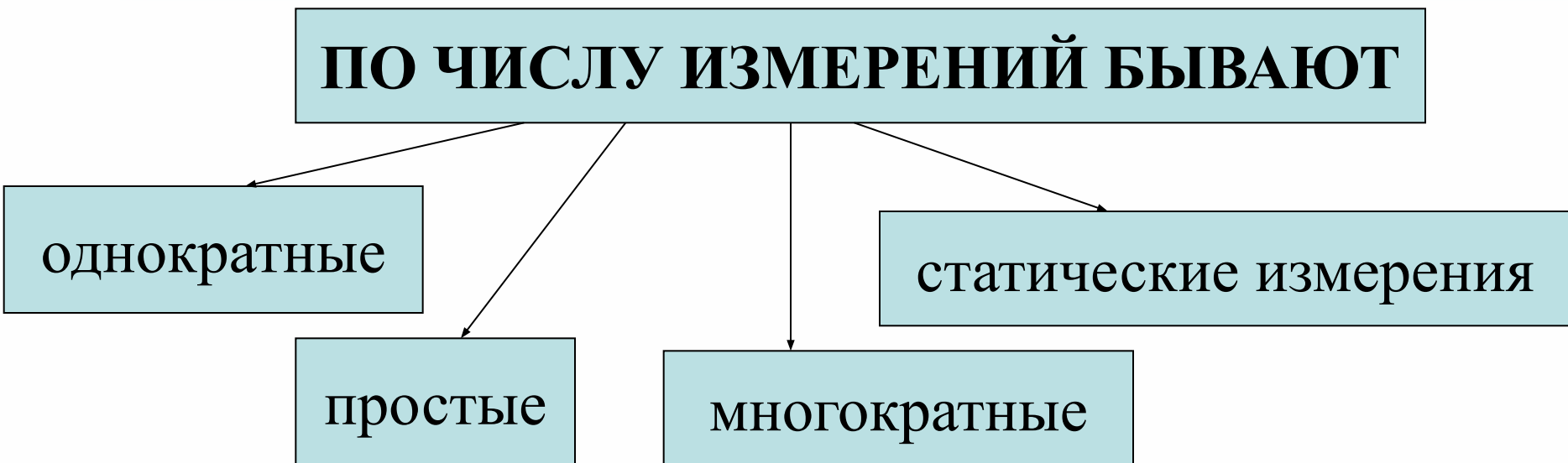
## ПО ЧИСЛУ ИЗМЕРЕНИЙ БЫВАЮТ

однократные

простые

многократные

статические измерения



## ПО РЕЖИМУ РАБОТЫ СИ РАЗЛИЧАЮТ

статические

динамические

Любое СИ, как материальная система, обладает определенной инерционностью (механической, тепловой, электрической и т.д.) и, следовательно, не может мгновенно реагировать на изменение измеряемой физической величины.

Поэтому при измерении переменной физической величины инерционность СИ приводит к некоторому отставанию показаний СИ от истинного значения ФВ в каждый момент времени.



Очевидно, что это отставание будет зависеть не только от инерционных свойств СИ, но и от скорости изменения самой физической величины.

В этом случае, когда показания СИ не зависят от динамических свойств, говорят СИ работает в статическом режиме, а самоизмерением называют статическим. В противном случае измерение относят к динамическим.

По характеристике точности измерения бывают

равноточными

измерения какой-либо физической величины, выполненные одинаковыми по точности СИ и в одних и тех же условиях

неравноточными

это измерения какой-либо физической величины, выполненные одинаковыми по точности СИ и (или) в различных условиях.

Методики обработки равноточных и неравноточных измерений отличаются друг от друга.

По зависимости от метрологического назначения  
измерения

ТЕХНИЧЕСКИЕ

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ

## Технические измерения выполняют с помощью рабочих СИ

Метрологические измерения выполняют с помощью эталонных СИ с целью воспроизведения единицы измерения физической величины для передачи их размеров рабочим СИ.

При реализации таких измерений обязательно производят учет погрешности измерения, а при технических измерениях принимается наперед заданная погрешность, достаточная для решения данной практической задачи.

## **ПО ХАРАКТЕРУ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ БЫВАЮТ**

**абсолютные**

**относительные**

## АБСОЛЮТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

есть измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

Например, измерение силы  $F$  основано на измерении основной величины – массы ( $m$ ) вещества и использовании физической постоянной  $g=9.81$  .

## ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

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

## КОНТАКТНЫЙ

основан на том, чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения.

Например, контроль температуры термометром.



## **БЕСКОНТАКТНЫЙ ВИД**

**ОСНОВАН НА ТОМ, ЧТО ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ  
ЭЛЕМЕНТ ПРИБОРА  
ПРИВОДИТСЯ В КОНТАКТ С ОБЪЕКТОМ ИЗМЕРЕНИЯ.**

Например, измерение температуры пирометром.

Выбор того или иного метода измерений  
определяется  
назначением их результатов,  
требованиями к точности и скорости  
реализации самого измерения.

Могут быть применены еще и нетрадиционные виды измерений в случаях, когда приходится использовать уникальные наблюдения за неизвестной физической величиной, существующей пока только в теоретических предположениях.

Такие методы используют при физико-химических исследованиях быстропротекающих процессов взаимодействия элементарных частиц в ядерной реакции составляет около , при котором использовать традиционные методы измерений практически невозможно. Применяя нетрадиционные методы измерений выдающиеся ученые мира Гей-Люссак, Авагадро, Вандер-Ваальс, Томсон и Миллекен определили величины массы покоя электрона и его заряда.

Методом измерений называется прием или совокупность использованных приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей измерения в соответствии с реализованным принципом измерения.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПОДРАЗДЕЛЯЮТСЯ

```
graph TD; A[МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПОДРАЗДЕЛЯЮТСЯ] --> B[непосредственной оценки]; A --> C[сравнения с мерой]
```

непосредственной оценки

сравнения с мерой

Использование метода непосредственной оценки  
позволяет определить  
значения физической величины непосредственно  
по отсчетному устройству показывающего СИ  
(амперметр, вольтметр, термометр др.)

Метод сравнения с мерой предусматривает измеряемую физическую величину сравнивать с величиной, воспроизводимой мерой.

## МЕТОД СРАВНЕНИЯ С МЕРОЙ

нулевой метод

метод совпадений

метод замещения

дифференциальный метод



## НУЛЕВОЙ МЕТОД (МЕТОД ПОЛНОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ)

метод сравнения с мерой, в котором  
результатирующий эффект  
воздействия измеряемой физической величины и  
встречного воздействия меры на  
сравнивающее устройство сводят к нулю.

Например, измерение массы вещества на равноплечих весах,  
когда воздействие на весы массы уравнивается массой гирь .

## ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ МЕТОДЕ

ПОЛНОЕ УРАВНОВЕШИВАНИЕ  
НЕ ПРОИЗВОДЯТ,  
А РАЗНОСТЬ МЕЖДУ ИЗМЕРЯЕМОЙ  
ВЕЛИЧИНОЙ И ВЕЛИЧИНОЙ,  
ВОСПРОИЗВОДИМОЙ МЕРОЙ,  
ОТСЧИТЫВАЕТСЯ ПО ШКАЛЕ СИ.

Например, измерение массы на равноплечих весах, когда воздействие массы  $m_x$  на весы частично уравновешивается массой гирь  $m_0$ , а разность их отсчитывается по шкале весов, градуированной в единицах массы. В этом случае значение измеряемой величины равно  $m_x = m_0 + \Delta m_n$ , где  $\Delta m_n$  -показания весов.

## МЕТОД ЗАМЕЩЕНИЯ

метод сравнения с мерой,  
в котором измеряемую величину замещают  
известной величиной, воспроизводимой мерой.

Например, взвешивание массы вещества на пружинных весах.

## В МЕТОДЕ СОВПАДЕНИЙ

разность между измеряемой величиной  
и величиной,  
воспроизводимой мерой,  
определяют, используя совпадения  
отметок шкал.

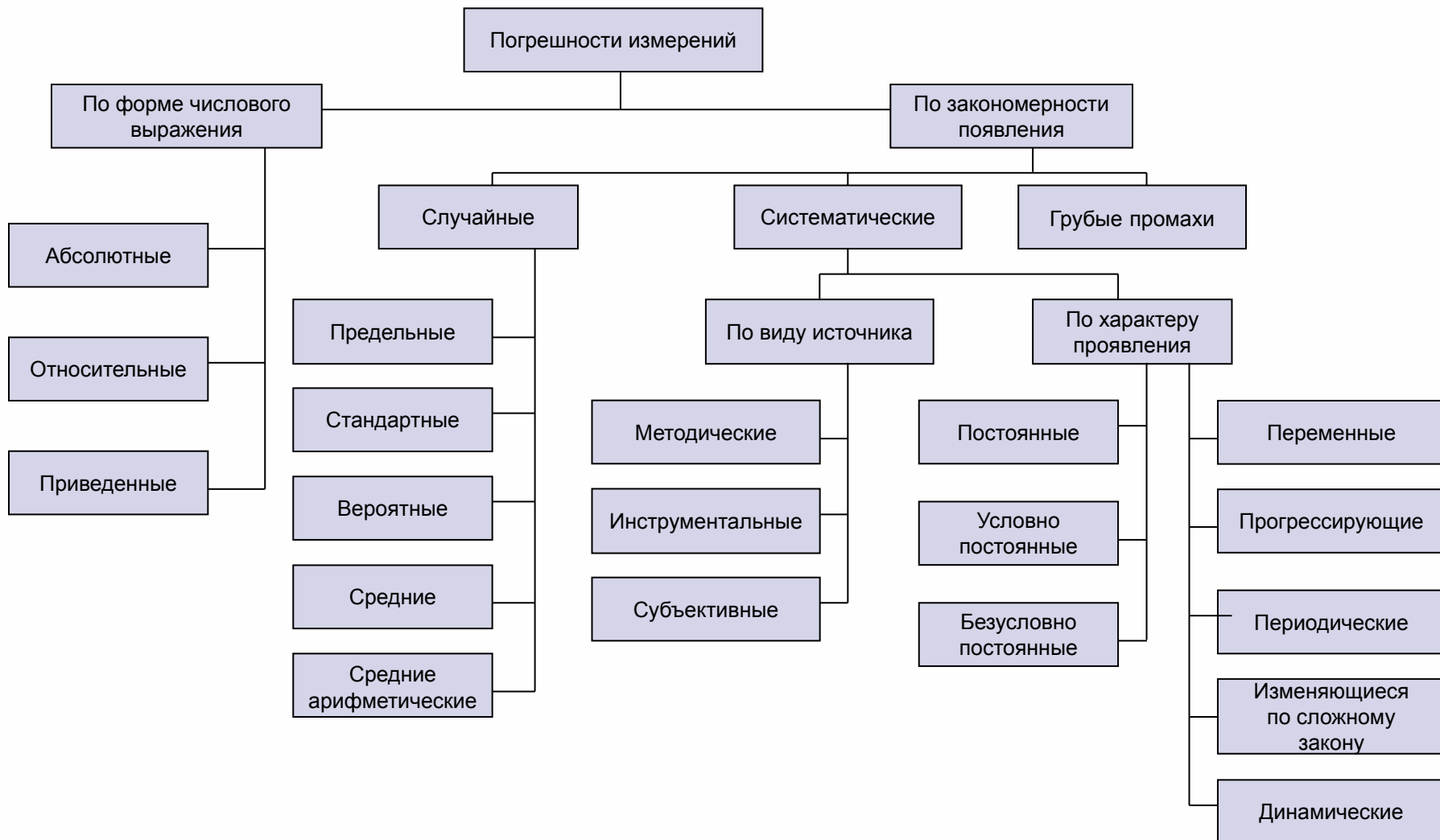
Например, измерение числа оборотов вала  
с помощью стробоскопа –  
на вал, казалась наблюдателю неподвижной.

**Погрешность измерения** – отклонение результата измерения, которым является измеренное значение физической величины, от истинного (действительного) значения.

Следовательно, количественной характеристикой качества любого измерения является величина ПИ, определяемая как разность между измеренным  $X_{из}$  истинным  $X_{ист}$  значениями измеряемой физической величины..

ПИ – погрешности измерения

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ



**Абсолютная погрешность** – погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины:

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



Точность измерения СИ лучше характеризует  
относительная ПИ

Относительная погрешность -ПИ, выраженная  
в процентах отношением абсолютной ПИ  
к действительному значению  
физической величины

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

Относительную ПИ выражают принятыми в  
системе СИ относительными величинами: безразмерным числом или %%.

**Приведенная ПИ** есть отношение абсолютной ПИ к нормирующему значению

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

Нормирующее значение измеряемой физической величины есть значение, равное верхнему пределу измерения СИ. При наличии двухсторонней шкалы измерения, имеющей деления вправо и влево от нуля, нормирующее значение равняется сумме двух диапазонов измерений.

Практически используемой при производстве измерений и наиболее точно характеризующей несовершенство СИ является точность измерения.

**Точность измерения** и ПИ связаны обратной зависимостью, т.е. чем точнее измерение, тем меньше ПИ.

$$C = 1/\delta$$

Количественно точность измерения выражается числом, равным обратному значению относительной ПИ

Будучи важнейшей характеристикой результата измерения, определяющей степень доверия к нему, ПИ должна быть обязательно оценена. В соответствии с этим утверждением различают **точные**, **приблизительные** и **предварительные** оценивания ПИ.

## СЛУЧАЙНАЯ ПИ

есть составляющая ПИ, изменяющаяся случайным образом, причем, случайно в вероятностно-статистическом смысле, при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Они не поддаются исключению из результатов измерений

Основными источниками случайных ПИ являются конструктивное несовершенство СИ, применяемого при измерении, принятие определенных числовых значений измеренных физических величин, изменение условий измерений, использованного метода измерений, погрешностей, допускаемых оператором при измерении и многих других.

## ***МЕТОДИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ***

*составляющая погрешности измерений,  
Обусловленная несовершенством метода  
измерений.*

К ней относят погрешности, обусловленные  
отличием принятой модели объекта измерения  
от реального объекта,  
несовершенством способа воплощения принципа  
измерений, неточностью формул, применяемых  
при нахождении результата измерений,  
и другими факторами, не связанными  
со свойствами СИ.

Примерами методических погрешностей измерений являются:

- погрешности изготовления цилиндрического тела (отличие от идеального круга) при измерении его диаметра;
- несовершенство определения диаметра круглого тела как среднего из значений диаметра в двух его заранее выбранных перпендикулярных плоскостях;



- погрешность измерений вследствие кусочно-линейной аппроксимации нелинейной калибровочной зависимости СИ при вычислении результата измерений;
- погрешность статического косвенного метода измерений массы нефтепродукта в резервуаре вследствие неравномерности плотности нефтепродукта по высоте резервуара.

## ***ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ***

*составляющая погрешности измерения,  
обусловленная несовершенством применяемого СИ:  
отличием реальной функции преобразования прибора  
от его калибровочной зависимости,  
неустраняемыми шумами в измерительной цепи,  
запаздыванием измерительного сигнала  
при его прохождении в СИ,  
внутренним сопротивлением СИ и др*

# ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

*Основную*

*(погрешность измерений при применении СИ в нормальных условиях)*

*дополнительную*

*(составляющая погрешности измерений и, возникающая вследствие отклонения какой-либо значения или ее выхода за пределы из влияющих величин от ее номинального нормальной области значений).*

## *Субъективная (личная) погрешность измерения*

*составляющим погрешности измерения,  
обусловленная индивидуальными  
особенностями оператора, т. е. погрешность  
отсчета оператором показаний по шкалам СИ.*

Они вызываются состоянием оператора,  
несовершенством органов чувств,  
эргономическими свойствами СИ.

Характеристики субъективной погрешности измерений определяют с учетом способности «среднего оператора» к интерполяции в пределах цены деления шкалы измерительного прибора.

Наиболее известная и простая оценка этой погрешности — ее максимальное возможное значение в виде половины цены деления шкалы.

## ПРОГРЕССИРУЮЩАЯ (ДРЕЙФОВАЯ) ПОГРЕШНОСТЬ

это непредсказуемая погрешность,  
медленно меняющаяся во времени.

Отличительные особенности прогрессирующих погрешностей: они могут быть скорректированы поправками только в данный момент времени, а далее вновь непредсказуемо изменяются; изменения прогрессирующих погрешностей во времени — нестационарный случайный процесс, и поэтому в рамках хорошо разработанной теории стационарных случайных процессов они могут быть описаны лишь с известными оговорками.

Прогрессирующая погрешность — это понятие, специфичное для нестационарного случайного процесса изменения погрешности во времени, оно не может быть сведено к понятиям случайной и систематической погрешностей.

Прогрессирующая погрешность может возникнуть вследствие как непостоянства во времени текущего математического ожидания нестационарного случайного процесса, так и изменения во времени его дисперсии или формы закона распределения.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ

это погрешность, численное значение которой вычисляется как разность между погрешностью, возникающей при измерении непостоянной (переменной во времени) величины, и статической погрешностью (погрешностью значения измеряемой величины в определенный момент времени).



## СТАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ

это погрешность,  
которая возникает в процессе измерения постоянной  
(не изменяющейся во времени) величины.

## ПРОМАХИ

Промахами (грубыми ПИ) называют ПИ, существенно превышающие ожидаемые при данных условиях систематические и случайные ПИ.

Они, как правило, не учитываются, т.е. их в расчет не берут.

Основная причина таких ПИ – ошибки оператора, производящего измерение, резкое изменение условий измерения, неисправность СИ и др.

Вольтметром со шкалой (0...100) В, имеющим абсолютную погрешность  $\Delta V = 1$  В, измерены значения напряжения 0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 В.

Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.

### *Решение.*

Для записи результатов формируем таблицу (табл. 1.1), в столбцы которой будем записывать измеренные значения  $V$ , абсолютные  $\Delta V$ , относительные  $\delta V$  и приведённые  $\gamma V$  погрешности.

В первый столбец записываем заданные в условии задачи измеренные значения напряжения: 0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 В.

Значение абсолютной погрешности известно из условий задачи ( $\Delta V = 1$  В) и считается одинаковым для всех измеренных значений напряжения; это значение заносим во все ячейки второго столбца.

Значения относительной погрешности будем рассчитывать по формуле

$$\delta V = \frac{\Delta V}{V} 100\%$$

При  $V = 0$  В получаем

$$\delta V = \frac{1}{0} 100\% \rightarrow \infty$$

При  $V = 10$  В получаем

$$\delta V = \frac{1}{10} 100\% = 10\%$$

Значения относительной погрешности для остальных измеренных значений напряжения рассчитываются аналогично. Полученные таким образом значения относительной погрешности заносим в третий столбец. Для расчёта значений приведённой погрешности будем использовать формулу:

$$\gamma V = \frac{\Delta V}{V_N} 100\%$$

Предварительно определим нормирующее значение  $V_N$ .

Так как диапазон измерений вольтметра – (0...100) В, то шкала вольтметра содержит нулевую отметку, следовательно, за нормирующее значение принимаем размах шкалы прибора, т.е.

$$V_N = 100 \text{ В} - 0 \text{ В} = 100 \text{ В}.$$

Так как величины  $\Delta V$  и  $V_N$  постоянны при любых измеренных значениях напряжения, то величина приведённой погрешности так же постоянна и составляет

$$\gamma V = \frac{1}{100} 100\% = 1\%$$

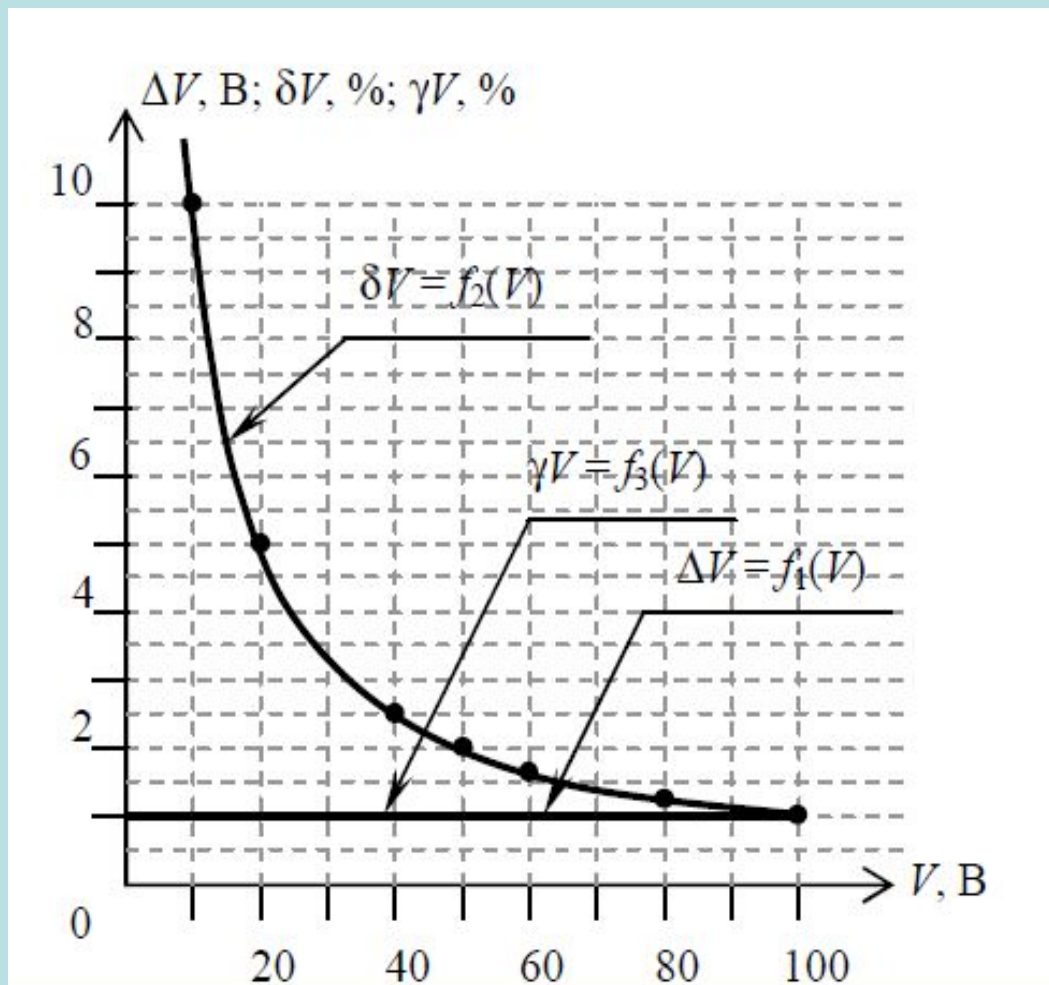
Это значение заносим во все ячейки четвёртого столбца. По данным табл. строим графики зависимостей абсолютной  $\Delta V$ , относительной  $\delta V$  и приведённой  $\gamma V$  погрешностей от результата измерений  $V$  (рис.)

В данном случае графики зависимостей абсолютной и приведённой погрешностей сливаются друг с другом и представляют собой горизонтальные прямые линии. График зависимости относительной погрешности представляет собой гиперболу.



так как диапазон измерений прибора –  $(0 \dots 100)$  В,  
то *за пределы этого диапазона*  
*построенные*  
*графики не должны выходить.*

$V, \text{ B}$	$\Delta V, \text{ B}$	$\delta V, \%$	$\gamma V, \%$
0	1	$\infty$	1
10	1	10,00	1
20	1	5,00	1
40	1	2,50	1
50	1	2,00	1
60	1	1,67	1
80	1	1,25	1
100	1	1,00	1



**Графики зависимостей абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений**

**Задача 1.** Омметром со шкалой (0...1000) Ом измерены значения  
0; 100; 200; 400; 500; 600; 800; 1000 Ом.  
Определить значения абсолютной  
и относительной погрешностей,  
если приведённая погрешность равна 0,5.  
Результаты представить в  
виде таблицы и графиков.

**Задача 2.** Амперметром со шкалой (0...50) А, имеющим относительную погрешность  $\delta I = 2\%$ , измерены значения силы тока 0; 5; 10; 20; 25; 30; 40; 50 А.

Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 3.** Вольтметром со шкалой (0...50) В, имеющим приведенную погрешность  $\gamma_V = 2\%$ , измерены значения напряжения 0; 5; 10; 20; 40; 50 В. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 4.** Кислородомером со шкалой (0...25) % измерены следующие значения концентрации кислорода:  
0; 5; 10; 12,5; 15; 20; 25%.

Определить значения абсолютной и относительной погрешностей, если приведённая погрешность равна 2%.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 5.** Расходомером со шкалой  $(0 \dots 150)$  м<sup>3</sup>/ч, имеющим относительную погрешность  $\delta Q = 2\%$ , измерены значения расхода 0; 15; 30; 45; 60; 75; 90; 105; 120; 135; 150 м<sup>3</sup>/ч.

Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.



**Задача 6.** Уровнемером со шкалой (5...10) м, имеющим приведенную погрешность  $\gamma H = 1\%$ , измерены значения уровня 5; 6; 7; 8; 9; 10 м.

Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 7.** Омметром со шкалой (0...20) кОм измерены значения 0; 1; 4; 5; 10; 12; 17; 20 кОм.

Определить значения абсолютной и относительной погрешностей, если приведённая погрешность  $\gamma_R$  равна 1%.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 8.** Амперметром со шкалой (0...150) А, имеющим относительную погрешность  $\delta I = 4\%$ , измерены значения силы тока 0; 20; 50; 70; 100; 120; 140; 150 А.

Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 9.** Вольтметром со шкалой (0...100) мВ, имеющим приведённую погрешность  $\gamma V = 2\%$ , измерены значения напряжения 0; 10; 20; 40; 50; 70; 90; 100 мВ.

Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 10.** Кислородомером со шкалой (0...50) % измерены следующие

значения концентрации кислорода:

0; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50%.

Определить значения абсолютной и относительной погрешностей, если приведённая погрешность равна 0,5%.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 11.** Расходомером со шкалой (0...230) м<sup>3</sup>/ч, имеющим относительную погрешность  $\delta Q = 6\%$ , измерены значения расхода 0; 30; 40; 60; 90; 100; 150; 180; 200; 230 м<sup>3</sup>/ч. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 12.** Уровнемером со шкалой (1...20) м, имеющим приведённую погрешность  $\gamma H = 1\%$ , измерены значения уровня 1; 6; 8; 10; 14; 16; 18; 20 м.

Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 13.** Мегомметром со шкалой (0...150) МОм измерены следующие значения сопротивления: 0; 15; 30; 45; 60; 75; 90; 105; 120; 135; 150 МОм.

Определить значения абсолютной и приведённой погрешностей, если относительная погрешность равна 2,5%.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.



**Задача 14.** Амперметром со шкалой (0...50) А, имеющим приведённую погрешность  $\gamma I = 0,2\%$ ,

измерены

значения силы тока 0; 5; 10; 20; 25; 30; 40; 50 А.

Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений.

Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 15.** Вольтметром со шкалой  $(-50 \dots 50)$  В, имеющим приведенную погрешность  $\gamma V = 2\%$ , измерены значения напряжения  $-50; -40; -20; 0; 20; 40; 50$  В. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 16.** Кислородомером со шкалой (0...25) % измерены следующие значения концентрации кислорода: 0; 5; 10; 12,5; 15; 20; 25%. Определить значения абсолютной и приведённой погрешностей, если относительная погрешность  $\delta_c$  равна 4%. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 17.** Расходомером со шкалой (0...50) м<sup>3</sup>/ч, имеющим абсолютную погрешность  $\Delta Q = 1$  м<sup>3</sup>/ч, измерены значения расхода 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50 м<sup>3</sup>/ч.

Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 18.** Уровнемером со шкалой (0...10) м, имеющим приведённую погрешность  $\gamma H = 4\%$ , измерены значения уровня 0; 5; 6; 7; 8; 9; 10 м. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 19.** Омметром со шкалой (0...5000) Ом измерены значения 0; 500; 800; 1000; 1500; 2500; 3500; 4500; 5000 Ом. Определить значения приведённой и относительной погрешностей, если абсолютная погрешность  $DR$  равна 25 Ом. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Задача 20.** Термометром со шкалой  $(-50 \dots 70) \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  
имеющим абсолютную погрешность  $\Delta T = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  
измерены  
значения температуры  $-50; -40; -20; -10; 0; 10; 20; 50; 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ .  
Рассчитать зависимости абсолютной,  
относительной и приведённой  
погрешностей от результата измерений.  
Результаты представить в виде таблицы и графиков.

# Средства измерений.

## Классификация средств измерений

техническое средство, предназначено  
для измерений,  
имеющее нормированные метрологические  
характеристики,  
воспроизводящее или хранящее единицу ФВ,  
размер которой принимается неизменным  
в течение  
известного интервала времени.



Под **метрологической характеристикой СИ** понимают такие показатели, которые позволяют судить об их пригодности для измерений в заданном диапазоне с заданной точностью. В отличие от СИ приборы или вещества, не имеющие нормированных метрологических характеристик, называют **индикаторами**.

СИ являются технической основой метрологического обеспечения единства измерений.



**Мера** - это средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

### **Однозначная мера**

Мера, воспроизводящая физическую величину одного размера.

### **Многозначная мера**

Мера, воспроизводящая ряд одноименных величин различного размера.

## Набор мер

Специально подобранный комплект мер, применяемый не только по отдельности, но и в различных сочетаниях с целью воспроизведения ряда одноименных величин различного размера.

## Магазин мер

это набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях.

## Установочная мера физической величины

мера физической величины, предназначенная:

- для приведения показания или выходного сигнала средства измерений в соответствие с ее известным значением; или
- для контроля неизменности чувствительности средства измерений или выходных сигналов к показаниям, соответствующим чувствительности средств измерений при первичной градуировке.

## Средство сравнения

Техническое средство или специально созданная среда, посредством которых возможно выполнять сравнение друг с другом мер однородных величин или показания измерительных приборов.

## Компаратор

Средство сравнения, предназначенное для сличения мер однородных величин.

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

### **Аналоговый измерительный прибор**

Измерительный прибор, показания которого являются непрерывной функцией изменения измеряемой величины.



## Измерительный преобразователь

- средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

## Первичный

Измерительный преобразователь, к которому подведена измеряемая величина, т.е. первый в измерительной цепи.

Первичный измерительный преобразователь конструктивно оформленный как обособленное средства измерений с нормированной функцией преобразования, называется **датчиком**

**Датчик** в большинстве случаев предназначен для преобразования неэлектрической ФВ в электрическую ФВ

**АЦП** служит для измерения напряжения, т.е. преобразования аналоговой информации в цифру.

**ЦАП** представляет собой преобразователь входной цифровой информации в выходной аналоговый сигнал управления.

**Цифровой измерительный прибор**  
Измерительный прибор, автоматически  
вырабатывающий дискретные сигналы  
измерительной информации,  
показания которого представлены  
в цифровой форме.

*Масштабный преобразователь*

-измерительный преобразователь,  
-предназначенный для изменения величины  
в заданное число раз.

## Измерительная установка

- совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем и расположенная на одном месте.

## 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 сигналах управления.

**Измерительно – вычислительный комплекс**  
Функционально объединённая совокупность  
средств измерений,  
ЭВМ и вспомогательных устройств,  
предназначенная для выполнения  
в составе измерительной системы  
конкретной измерительной задачи.



# Виды эталонов и их свойства

Эталон

Первичный эталон

*Эталон-копия*

*Вторичный  
(или специальный) эталон*

*Эталон-свидетель*

*Государственный  
или национальный*

*Рабочий эталон*

*Эталон  
сравнения*

*Рабочий эталон*

***Первичный эталон*** - эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью

***•Вторичный (или специальный) эталон***

- воспроизводит единицу в особых условиях и заменяет
  - при этих условия первичный эталон.
- Он создается и утверждается в тех случаях,
  - когда это необходимо
  - для обеспечения наименьшего
  - износа государственного эталона.
- .

Вторичные эталоны  
по своему назначению делятся на

эталон-копии

эталон сравнения

эталон-свидетели и

рабочие эталоны

## *Государственный или национальный*

- это первичный или специальный эталон, официально утвержденный в качестве исходного для страны.

Государственные эталоны создаются, хранятся и применяются центральными метрологическими научными институтами страны.

Точность воспроизведения единицы должна соответствовать уровню лучших мировых достижений и удовлетворять потребностям науки и техники.

### *Эталон-копия*

предназначен для передачи размеров единиц рабочим эталонам.

Он не всегда является физической копией государственного эталона.

### *Эталон-свидетель*

предназначен для проверки сохранности государственного эталона и для замены его в случае порчи или утраты.

### *Эталон сравнения*

применяют для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом.

### *Рабочий эталон*

воспроизводит единицу от вторичных эталонов и служит для передачи размера эталону более низкого разряда.